



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TM 141585**

# **ANALISA PERILAKU ARAH KENDARAAN PRODUKSI MULTIGUNA PEDESAAN DENGAN VARIASI MUATAN, KECEPATAN, SUDUT BELOK DAN SUDUT KEMIRINGAN MELINTANG JALAN**

**MUHAMMAD NASHIRUDDIN AZHAR**  
**2111 100 100**

Dosen Pembimbing  
**Prof. Ir. I Nyoman Sutantra., MSc., PhD**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya, 2016**



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**ANALISA PERILAKU ARAH KENDARAAN  
PRODUKSI MULTIGUNA PEDESAAN DENGAN  
VARIASI MUATAN, KECEPATAN, SUDUT BELOK  
DAN SUDUT KEMIRINGAN MELINTANG JALAN**

**MUHAMMAD NASHIRUDDIN AZHAR**  
2111 100 100

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra., MSc., PhD

**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya, 2016



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TM 141585**

# **DIRECTION BEHAVIOR ANALYSIS OF RURAL PRODUCTION MULTIPURPOSE VEHICLE WITH VARIATION OF CARGO, SPEED, TURNING ANGLE AND TRANSVERSE ROAD SLOPE ANGLE**

**MUHAMMAD NASHIRUDDIN AZHAR**  
**2111 100 100**

Academic Supervisor  
**Prof. Ir. I Nyoman Sutantra., MSc., PhD**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya, 2016

**ANALISA PERILAKU ARAH KENDARAAN  
PRODUKSI MULTIGUNA PEDESAAN DENGAN  
VARIASI MUATAN, KECEPATAN, SUDUT BELOK  
DAN SUDUT KEMIRINGAN MELINTANG JALAN**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Desain Program Studi S-1  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**MUHAMMAD NASHIRUDDIN AZHAR**

**NRP. 2111 100 100**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:**

1. Prof.Ir. I Nyoman Sutantra, MSc, PhD ..... (Pembimbing)  
(NIP. 195106051978031002)
2. Dr. Unggul Wasiwitono, ST, M. Eng. Sc ..... (Penguji I)  
(NIP. 197805102001121001)
3. Dr.Ir. Agus Sigit Pramono, DEA ..... (Penguji II)  
(NIP. 196508101991021001)
4. Moch.Solichin, ST, MT ..... (Penguji III)  
(NIP. 198908172015041003)

**SURABAYA**

**Januari, 2016**



# **ANALISA PERILAKU ARAH KENDARAAN PRODUKSI MULTIGUNA PEDESAAN DENGAN VARIASI MUATAN, KECEPATAN, SUDUT BELOK DAN SUDUT KEMIRINGAN MELINTANG JALAN**

**Nama Mahasiswa : Muhammad Nashiruddin Azhar**  
**NRP : 2111 100 100**  
**Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS**  
**Dosen Pembimbing: Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D**

## **ABSTRAK**

Pengembangan alat transportasi saat ini mulai beranjak menuju zero emission vehicle. Pengembangan kendaraan produksi multiguna pedesaan bertenaga listrik yang dapat difungsikan sebagai penunjang berbagai kegiatan perindustrian maupun UMKM. Pengembangan kendaraan ini mempertimbangkan banyak hal, salah satu diantaranya adalah kestabilan kendaraan. Mobil harus stabil agar tidak membahayakan dan menghindari terjadinya kecelakaan. Pengemudi harus menguasai cara berkendara yang baik agar mobil tetap stabil, aman dan nyaman saat dijalankan.

Gerakan belok adalah gerakan kendaraan paling kritis karena gerakan tersebut dapat menunjukkan kualitas kestabilan dari kendaraan. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa *slip*, *skid* dan guling tentang kestabilan arah dari kendaraan produksi multiguna pedesaan dengan memvariasikan: muatan, kecepatan, sudut belok, dan sudut kemiringan melintang jalan. Analisa *slip* dilakukan dengan mencari  $\alpha_F$  dan  $\alpha_R$ . Analisa *skid* dengan membandingkan  $F_c$  dan  $F_g$ . Analisa guling dengan mencari nilai  $F_z$  pada masing-masing roda. Data-data kendaraan dimasukkan ke dalam persamaan untuk mengetahui perilaku arah kendaraan apakah normal, *oversteer* atau *understeer*.

Hasil penelitian tugas akhir ini berdasarkan analisa *slip* kendaraan cenderung mengalami perilaku *understeer*. Semakin besar kecepatan dan sudut belok dari kendaraan, maka kendaraan akan kecenderungan kendaraan untuk *slip*, *skid* dan guling juga akan semakin besar. Kendaraan mengalami *skid* dan guling pada kecepatan 25 km/jam dimulai pada sudut belok 30°, pada kecepatan 30 km/jam dimulai pada sudut belok 25°, pada kecepatan 35 km/jam dimulai pada sudut belok 20°, pada kecepatan 40 km/jam dimulai pada sudut belok 15° dan pada kecepatan 30 km/jam sampai 50 km/jam dimulai pada sudut belok 5°. Didapatkan kesimpulan pada kendaraan dengan muatan Multi Purpose Thresher, posisi titik berat 7 ( $b=2.2626$  m,  $L_f=1.2137$  m,  $L_r=1.4363$  m dan  $h=0.7118$  m) merupakan posisi titik berat yang paling baik. Untuk kendaraan dengan muatan Freezer, posisi titik berat 6 ( $b=2.0632$  m,  $L_f=1.2027$  m,  $L_r=1.4473$  m dan  $h=0.705$  m) merupakan posisi titik berat yang paling baik. Kesimpulan tersebut didapatkan berdasarkan posisi titik berat yang memiliki kondisi *oversteer* yang paling sedikit dan nilai *understeer* index positif (*understeer*) yang paling rendah dibandingkan posisi titik berat yang lain.

**Kata kunci :** *ackerman, slip, skid, guling, oversteer, understeer*

# **DIRECTION BEHAVIOR ANALYSIS OF RURAL PRODUCTION MULTIPURPOSE VEHICLE WITH VARIATION OF CARGO, SPEED, TURNING ANGLE AND TRANSVERSE ROAD SLOPE ANGLE**

**Student Name : Muhammad Nashiruddin Azhar**  
**NRP : 2111 100 100**  
**Department : Teknik Mesin FTI-ITS**  
**Advisor Lecturer : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D**

## **ABSTRACT**

*The development of transportation are now starting to headed out zero emission vehicle. The development of Rural Production Multipurpose Vehicle wich generated by electric power could be functioned a supporting various industry, small and medium businesses activities. The development of these vehicles consider many things, one of them are the stability of the vehicle. Cars had to stable so that could not harm and avoid accidents. The driver must have a good way to drive the car remain stable, safe and comfort when run.*

*Turn movement of the vehicle is the most critical movement because it could indicate quality of vehicles stability. This final project will analyze slip , skid and roll of the stability of the direction of rural production multipurpose vehicle with variation of cargo, speed, turning angle and transverse road slope angle. Slip analysis by seeking  $\alpha_F$  and  $\alpha_R$ . Skid analysis by comparing  $F_c$  dan  $F_g$ . Roll analysis by seeking value of  $F_z$  in each wheels. Vehicles data put into similarities to know behavior direction of vehicle is it normal , oversteer or understeer.*

*Result of this final project based on slip analysis vehicle disposed to occur understeer behavior. Bigger speed and the*



turning angle given to vehicle, tendency of vehicle to slip, skid and bolster also will be bigger. Vehicle disposed to skid and roll at the speed of 25 km/h begins at 30° of turning angle, at the speed of 30 km/h begins at 25° of turning angle, at the speed of 35 km/h begins at 20° of turning angle, at the speed of 40 km/h begins at 15° of turning angle and at the speed of 30 km/h to 50 km/h begins at 5° of turning angle. So conclusion obtained on vehicle with a cargo of Multi Purpose Thresher, Center of Gravity 7 ( $b=2.2626$  m,  $L_f=1.2137$  m,  $L_r=1.4363$  m dan  $h=0.7118$  m) is the best position. For vehicle with a cargo of Freezer, Center of Gravity 6 ( $b=2.0632$  m,  $L_f=1.2027$  m,  $L_r=1.4473$  m dan  $h=0.705$  m) is the best position. Conclusions were obtained based on the Center of Gravity which have the minimum condition of oversteer and minimum positive value of understeer index (understeer) compared to another Center of Gravity.

**Keyword: ackerman, slip, skid, roll, oversteer, understeer**



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT., yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Perilaku Arah Kendaraan Produksi Multiguna Pedesaan dengan Variasi Muatan, Kecepatan, Sudut Belok dan Sudut Kemiringan Melintang Jalan”. Tak lupa shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah menyebarkan keindahan di dunia ini.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak melibatkan pihak-pihak yang membantu, memotivasi, dan mendorong penulis untuk segera menyelesaikannya. Oleh karena itu ijin penulis mengucapkan Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Choirun Nuri** dan **Enik Nur Aini**. Kedua orang tua penulis, yang selalu menghantarkan do’a agar penulis selalu diridhoi Allah SWT dan dilancarkan segala urusannya serta selalu memberikan motivasi kepada penulis.
2. Saudara kandung penulis kakak serta adik-adik: **Nabilah Qonitah, Muhammad Nauval Imaduddin, Muhammad Nadhif Chasbullah** dan **Nabilah Tsabitah** yang selalu menjadi sumber semangat dalam menjalani segala hal.
3. **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., PhD.**, selaku pembimbing tugas akhir penulis, terimakasih atas segala bimbingan, ilmu dan semua yang bapak berikan terhadap penulis. Terimakasih atas semua inspirasi dan hikmah kehidupan yang bapak berikan.
4. **Dr.Ir. Agus Sigit Pramono, DEA ; Dr.Eng Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng,Sc dan M.Solichin, ST., MT** , selaku dosen penguji seminar dan sidang Tugas Akhir penulis. Terimakasih sudah bersedia menjadi penguji dan Terimakasih atas segala masukkan yang diberikan untuk perbaikan Tugas Akhir ini.

5. Seluruh Dosen dan Karyawan di lingkungan Teknik Mesin ITS, Terimakasih atas ilmu dan segalanya yang telah diberikan kepada penulis.
6. **Yayasan Karya Salemba Empat** selaku penyokong biaya perkuliahan penulis, terlebih kepada **PT. Indofood Sukses Makmur Tbk.** Terimakasih banyak terhadap segala yang penulis dapatkan baik itu materi maupun *softskill* dari berbagai pelatihan.
7. *Partner* seperjuangan Tugas Akhir; **Angga Ramadhana Putra, Indira Riska Saraswati dan Muchlis Rifai.** Terimakasih atas bantuan, dukungan dan masukannya selama ini.
8. Keluargaku mahasiswa/i Teknik Mesin ITS angkatan 2011, **M54.** Terimakasih sudah menjadi keluarga yang baik bagi penulis. Terimakasih selama ini sudah mengisi mozaik-mozaik kehidupan penulis dengan sangat indah.
9. Segenap warga **Republik Sulap** laboratorium *design* yang selalu memberikan kebahagiaan, keceriaan dan kekeluargaan selama ini.
10. Pengurus **Himpunan Mahasiswa Mesin** yang telah menjalankan program kerja bersama-sama. Terlebih kepada BPH HMM 2013/2014; **Latif, Wira Ashari, Esty Wulandari, Anita Rindiyah F., Wardah Choirina L., Maylana Ikhwan, Bagus Setiawan, I Nyoman Ari Susastrawan, Khisni Sains, Prasetyo Putra W., Harnanto Budi Utomo, Gusti Fajar Romano dan Haykal Pasha** terimakasih sudah menjadi *superteam* yang dengan gagahnya menyelesaikan berbagai permasalahan.
11. **Paguyuban Karya Salemba Empat ITS,** keluarga penulis yang berhasil membuat cara memandang penulis terhadap suatu hal menjadi lebih luas. Terlebih kepada pasukan *Student Resource Development:* **Miftakhul Riza R.F., Kemal R., Qintan I.A., Lilis W.A., Rahmad Y.R., Gusti Rinaldi Z., Novia L., Ayu N.A. dan Ubaidillah.**

12.Seluruh pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan dan dukungannya terhadap penulis hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Akhir kata, penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Penulis paham apabila Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk menjadikan Tugas Akhir ini lebih baik kedepannya.

Surabaya, 25 Januari 2016

Penulis





## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II .....	5
2.1 Center of Gravity .....	5
2.1.1 Posisi Titik Berat .....	5
2.1.2 Posisi tinggi titik berat .....	8
2.2 Perilaku Belok Kendaraan .....	11
2.2.1 Perilaku Kendaraan Belok Kondisi Ideal/ <i>Ackerman</i> ..	11
2.2.2 Perilaku <i>Understeer</i> .....	12
2.2.3 Perilaku <i>Oversteer</i> .....	13
2.3 Perhitungan <i>Side Slip angle</i> .....	14
2.4 Koefisien Gesek .....	16

2.5 Mengukur Perilaku Arah Kendaraan .....	16
2.5.1 Analisa Slip untuk Kendaraan Belok pada Jalan Miring .....	16
2.5.2 Analisa Skid untuk Kendaraan Belok pada Jalan Miring .....	24
2.5.2.1 Analisa Skid untuk Roda Depan .....	24
2.5.2.2 Analisa Skid untuk Roda Belakang .....	26
2.5.3 Analisa Guling untuk Kendaraan Belok pada Jalan Miring .....	27
2.5.3.1 Analisa Guling untuk Roda Depan .....	27
2.5.3.2 Analisa Guling untuk Roda Belakang .....	29
2.5.4 Analisa understreer (Kus) .....	30
2.6 Penelitian Terdahulu .....	31
2.7 Data Teknis Kendaraan .....	33
BAB III .....	37
3.1 Prosedur Penelitian .....	37
3.2 Flowchart Perhitungan .....	38
3.3 Prosedur Perhitungan .....	39
BAB IV .....	43
4.1 Data dan Spesifikasi Kendaraan .....	43
4.2 Analisa Kestabilan Arah Kendaraan .....	47
4.2.1 Analisa Kestabilan Arah Kendaraan Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher .....	47
4.2.1.1 Variasi Posisi CG Kendaraan Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher .....	47
4.2.1.1.1 Analisa Slip Posisi CG 7 Kendaraan Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher .....	55



4.2.1.1.2 Analisa Skid Posisi CG 7 Kendaraan Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher .....	59
4.2.1.1.3 Analisa Guling Posisi CG 7 Kendaraan Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher .....	61
4.2.1.1.4 Analisa Kus Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher .....	62
4.2.2 Analisa Kestabilan Arah Kendaraan Kendaraan Bermuatan <i>Freezer</i> .....	66
4.2.2.1 Variasi Posisi CG Kendaraan Kendaraan Bermuatan <i>Freezer</i> .....	66
4.2.2.1.1 Analisa Slip Posisi CG 7 Kendaraan Kendaraan Bermuatan <i>Freezer</i> .....	75
4.2.2.1.2 Analisa Skid Posisi CG 7 Kendaraan Kendaraan Bermuatan <i>Freezer</i> .....	79
4.2.2.1.3 Analisa Guling Posisi CG 7 Kendaraan Kendaraan Bermuatan <i>Freezer</i> .....	81
4.2.2.1.4 Analisa Kus Kendaraan Bermuatan <i>Freezer</i>	82
BAB V .....	87
5.1 Kesimpulan.....	87
5.1 Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA.....	89
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Free Body diagram</i> kendaraan produksi multiguna pedesaan sebelum penambahan muatan dan penumpang [2]. .....	6
Gambar 2. 2 <i>Free Body diagram</i> kendaraan produksi multiguna pedesaan setelah penambahan muatan dan penumpang [2]. .....	7
Gambar 2. 3 <i>Free Body diagram</i> kendaraan produksi multiguna pedesaan dengan posisi membentuk sudut $\theta$ sebelum penambahan muatan dan penumpang [2].	9
Gambar 2. 4 Perilaku belok Ackerman [1]. .....	11
Gambar 2. 5 Perilaku <i>Understeer</i> [2] .....	12
Gambar 2. 6 Perilaku <i>Oversteer</i> [2] .....	13
Gambar 2. 7 Kondisi nyata kendaraan belok [1]. .....	15
Gambar 2. 8 <i>Free Body Diagram</i> kendaraan saat berbelok <i>full model</i> [1]. .....	17
Gambar 2. 9 <i>Free Body Diagram</i> kendaraan saat berbelok pada bidang datar <i>bicycle model</i> [1]. .....	18
Gambar 2. 10 <i>Free Body Diagram</i> untuk kendaraan belok pada jalan miring [3]. .....	18
Gambar 2. 11 <i>Free Body Diagram</i> roda depan <i>bicycle model</i> [1]. .....	19
Gambar 2. 12 <i>Free Body Diagram</i> tampak samping <i>bicycle model</i> [1]. .....	21
Gambar 2. 13 <i>Free Body Diagram</i> kendaraan roda depan untuk mencari $F_z$ pada jalan datar [1]. .....	22
Gambar 2. 14 <i>Free Body Diagram</i> untuk kendaraan belok pada jalan miring [3]. .....	22



Gambar 2. 15 <i>Free Body Diagram</i> untuk kendaraan belok pada jalan miring [3].....	24
Gambar 2. 16 <i>Free Body Diagram</i> untuk kendaraan belok pada jalan miring [3].....	27
Gambar 2. 17 Kendaraan produksi multiguna pedesaan dengan muatan Multi Purpose Thresher .....	33
Gambar 2. 18 Kendaraan produksi multiguna pedesaan dengan muatan Freezer .....	34
Gambar 4. 1 Variasi posisi <i>Center of Gravity</i> kendaraan.....	44
Gambar 4. 2 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 1 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .....	47
Gambar 4. 3 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 2 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .....	48
Gambar 4. 4 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 3 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .....	48
Gambar 4. 5 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 4 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .....	49
Gambar 4. 6 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 5 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .....	49
Gambar 4. 7 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 6 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .....	50
Gambar 4. 8 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 7 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .....	50
Gambar 4. 9 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 8 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .....	51
Gambar 4. 10 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 9 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .....	51
Gambar 4. 11 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 10 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .....	52

Gambar 4. 12 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 11 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .	52
Gambar 4. 13 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 12 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .	53
Gambar 4. 14 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 13 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .	53
Gambar 4. 15 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 14 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .	54
Gambar 4. 16 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 15 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan $\theta=0^\circ$ .	54
Gambar 4. 17 Grafik batas kecepatan Skid ( $V_s$ ) dengan sudut belok ( $\delta_f$ ) kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher posisi CG 7 (a) pada aspal kering (b) pada aspal basah .....	60
Gambar 4. 18 Grafik batas kecepatan Guling ( $V_g$ ) dengan sudut belok ( $\delta_f$ ) Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher Posisi CG 7 .....	62
Gambar 4. 19 Grafik Koefisien Understeer Indeks (Kus) dengan sudut belok ( $\delta_f$ ) Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher Posisi CG 7 pada kemiringan jalan melintang (a) $\theta=0^\circ$ (b) $\theta=5^\circ$ (c) $\theta=10^\circ$ .....	63
Gambar 4. 20 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 1 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	67
Gambar 4. 21 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 2 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	67
Gambar 4. 22 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 3 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	68
Gambar 4. 23 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 4 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	68
Gambar 4. 24 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 5 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	69

Gambar 4. 25 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 6 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	69
Gambar 4. 26 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 7 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	70
Gambar 4. 27 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 8 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	70
Gambar 4. 28 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 9 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	71
Gambar 4. 29 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 10 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	71
Gambar 4. 30 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 11 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	72
Gambar 4. 31 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 12 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	72
Gambar 4. 32 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 13 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	73
Gambar 4. 33 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 14 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	73
Gambar 4. 34 Grafik Kus vs $\delta_f$ posisi CG 15 kendaraan bermuatan Freezer dengan $\theta=0^\circ$ .....	74
Gambar 4. 35 Grafik batas kecepatan Skid ( $V_s$ ) dengan sudut belok ( $\delta_f$ ) kendaraan bermuatan Freezer posisi CG 6 (a) pada aspal kering (b) pada aspal basah .....	80
Gambar 4. 36 Grafik batas kecepatan Guling ( $V_g$ ) dengan sudut belok ( $\delta_f$ ) pada kemiringan jalan melintang ( $\theta=0^\circ$ ) Kendaraan Bermuatan Freezer Posisi CG 6 .....	82
Gambar 4. 37 Grafik Koefisien Understeer Indeks (Kus) dengan sudut belok ( $\delta_f$ ) Kendaraan Bermuatan Freezer Posisi CG 6 pada kemiringan jalan melintang (a) $\theta=0^\circ$ (b) $\theta=5^\circ$ (c) $\theta=10^\circ$ .....	83



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien adhesi ban pada bermacam jenis jalan [1].....	16
Tabel 2. 2 Spesifikasi Kendaraan Produksi Multiguna [5]	34
Tabel 2. 3 Spesifikasi Muatan Multi Purpose Thresher [6]	35
Tabel 2. 4 Spesifikasi Muatan Freezer [7] .....	35
Tabel 4. 1 Spesifikasi Kendaraan Produksi Multiguna Pedesaan .....	43
Tabel 4. 2 Variasi rancangan posisi titik berat dengan kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher ..	45
Tabel 4. 3 Variasi rancangan posisi titik berat dengan kendaraan bermuatan Freezer .....	45
Tabel 4. 4 Tabel sudut slip rata-rata roda depan $\alpha_f$ dan $\alpha_r$ .....	55
Tabel 4. 5 Tabel Radius Nyata Kendaraan dan Koefisien <i>Understeer</i> .....	57
Tabel 4. 6 Tabel sudut slip rata-rata roda depan $\alpha_f$ dan $\alpha_r$ .....	75
Tabel 4. 7 Tabel Radius Nyata Kendaraan dan Koefisien <i>Understeer</i> .....	77



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengembangan alat transportasi saat ini mulai beranjak menuju *zero emission vehicle*. ITS bekerjasama dengan Dinas Perindustrian dan Perdagangan mulai mengembangkan kendaraan produksi multiguna pedesaan bertenaga listrik yang dapat difungsikan sebagai penunjang bermacam-macam kegiatan perindustrian maupun UMKM. Pengembangan kendaraan ini mempertimbangkan banyak hal, salah satu diantaranya adalah kestabilan kendaraan. Mobil harus stabil agar tidak membahayakan dan menghindari terjadinya kecelakaan.

Pengemudi harus menguasai cara berkendara yang baik agar mobil tetap aman dan nyaman saat dijalankan. Mobil harus tetap stabil pada kondisi jalanan yang berbelok, miring melintang, menaik maupun menurun. Gerakan belok adalah gerakan kendaraan paling kritis karena gerakan tersebut dapat menunjukkan kualitas kestabilan dari kendaraan. Kondisi ideal dari kendaraan yang berbelok disebut kondisi *ackerman* dimana tidak terjadi sudut *slip* pada setiap roda. Pada kondisi riil terkadang kendaraan akan mengalami ketidakstabilan kendaraan yaitu saat kendaraan mengalami *understeer* dan *oversteer*. *Understeer* merupakan suatu kondisi saat roda depan mengalami *skid*. *Oversteer* merupakan suatu kondisi saat roda belakang mengalami *skid*. Jika terjadi *skid* pada saat berbelok maka kendaraan akan sulit dikendalikan dan sering menjadi penyebab dari kecelakaan lalu lintas.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis tentang kestabilan arah dari kendaraan produksi multiguna pedesaan dengan memvariasikan muatan, kecepatan, sudut belok dan sudut kemiringan melintang jalan. Analisa yang akan dilakukan yaitu analisa *skid*, analisa *slip* dan analisa guling. Data-data kendaraan

dimasukkan ke dalam persamaan untuk mengetahui perilaku arah kendaraan apakah netral, *understeer* atau *oversteer*. Sehingga pengemudi nantinya mengetahui perilaku arah sudut belok kendaraan dan juga batasan kecepatan agar kendaraan tetap stabil.

### 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang diteliti pada tugas akhir ini, antara lain :

1. Bagaimana perilaku arah kendaraan produksi multiguna pedesaan pada berbagai posisi *Centre of Gravity* berdasarkan variasi muatan, kecepatan, sudut belok dan sudut kemiringan kendaraan.
2. Berapakah kecepatan maksimum dari kendaraan produksi multiguna pedesaan berdasarkan analisa *skid* dan analisa guling pada beban tertentu.
3. Berapakah nilai koefisien *understeer* kendaraan produksi multiguna pedesaan berdasarkan sudut beloknya.
4. Bagaimana posisi *layout* muatan Multi Purpose Thresher dan Freezer yang baik.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada tugas akhir ini, antara lain :

1. Mengetahui perilaku arah kendaraan produksi multiguna pedesaan pada berbagai posisi *Centre of Gravity* berdasarkan variasi muatan, kecepatan, sudut belok dan sudut kemiringan kendaraan.
2. Mengetahui dan memberikan rekomendasi kecepatan maksimum dari kendaraan produksi multiguna pedesaan berdasarkan analisa *skid* dan analisa guling.
3. Mengetahui hubungan *understeer indeks* ( $K_{us}$ ) dengan sudut belok ( $\delta_f$ ) kendaraan riset *grandong*.
4. Menentukan *layout* muatan Multi Purpose Thresher dan Freezer yang baik.



#### **1.4 Batasan Masalah**

Pembahasan masalah pada tugas akhir ini dibatasi oleh beberapa hal, antara lain :

1. Kendaraan yang dianalisa adalah kendaraan produksi multiguna pedesaan.
2. Jalan yang dilalui diasumsikan rata, tidak bergelombang dan tidak berlubang.
3. Analisa dilakukan dengan berat muatan tertentu yang titik berat muatannya diasumsikan berada di tengah.
4. Koefisien adhesi untuk aspal kering 0,9 dan aspal basah 0,7.
5. Koefisien adhesi melintang untuk aspal kering dan aspal basah diasumsikan 0,8 dari koefisien adhesinya.
6. Ban yang digunakan adalah ban radial baru.
7. Kecepatan saat kendaraan berbelok konstan.
8. Analisa dilakukan dengan variasi kecepatan 20 km/jam, 25 km/jam, 30 km/jam, 35 km/jam, 40 km/jam, 45 km/jam, dan 50 km/jam.
9. Analisa dilakukan dengan variasi sudut kemiringan melintang jalan  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ .
10. Analisa dilakukan dengan variasi sudut belok  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ , dan  $30^\circ$ .

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian dari tugas akhir ini antara lain:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh berbagai variasi muatan, kecepatan, sudut belok, dan sudut kemiringan melintang jalan terhadap perilaku arah kendaraan produksi multiguna pedesaan.
2. Sebagai referensi untuk membuat desain kendaraan produksi multiguna pedesaan yang lebih baik.
3. Memberikan informasi dan rekomendasi kepada pengendara mengenai kecepatan maksimum yang diizinkan agar kendaraan tetap stabil.



## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

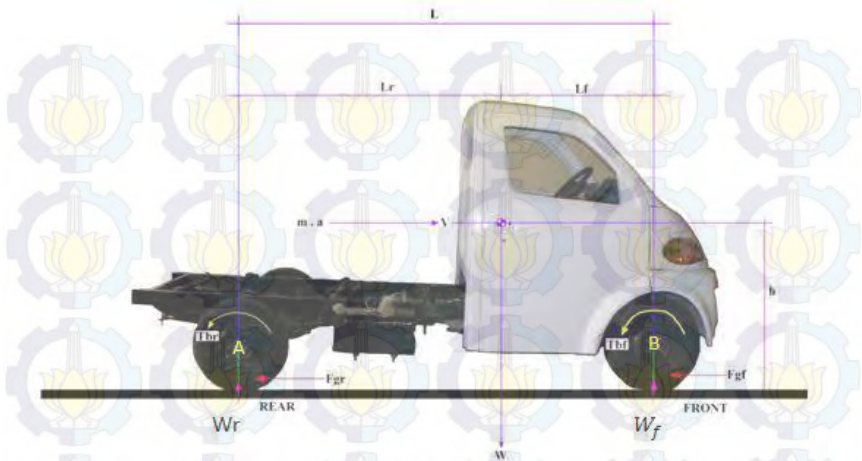
#### **2.1 Center of Gravity**

##### **2.1.1 Posisi Titik Berat**

Dinamika kendaraan dapat menggambarkan perilaku gerak kendaraan, perilaku arah, serta stabilitas arah kendaraan, kenyamanan dan keamanan kendaraan yang terkait dengan kecelakaan kendaraan pada saat jalan. Dalam analisis dinamika kendaraan, posisi titik berat memegang peranan penting.

Untuk mendapatkan titik berat dari kendaraan, bisa dilakukan dengan cara gaya reaksi yang terjadi pada roda depan atau roda belakang. Pengukuran dilakukan pada kondisi kendaraan benar-benar dalam posisi datar/ horizontal. Gaya reaksi pada roda depan ( $W_f$ ) dan gaya reaksi pada roda belakang ( $W_r$ ) apabila dijumlahkan akan sama dengan berat total dari kendaraan ( $W$ ). Nilai  $W_f$  dan  $W_r$  jika dijumlahkan akan bernilai  $W$  ( $W = W_r + W_f$ ).

Posisi titik berat pada kendaraan produksi multiguna pedesaan ini akan berubah seiring dengan perubahan berat muatan dan penumpang. Untuk posisi titik berat sebelum penambahan muatan dan penumpang dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2. 1 *Free Body diagram* kendaraan produksi multiguna pedesaan sebelum penambahan muatan dan penumpang [2].**

Sebelum terdapat penumpang dan muatan, dengan memperhatikan *free body diagram* dari gambar 2.1 dan menggunakan sumbu roda bagian depan sebagai pusat momen, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\sum M_B = 0 \text{ (asumsi + arah CCW)}$$

$$W \cdot l_f = W_r \cdot L \text{ ..... (2.1)}$$

$$l_f = \frac{W_r \cdot L}{W} \text{ ..... (2.2)}$$

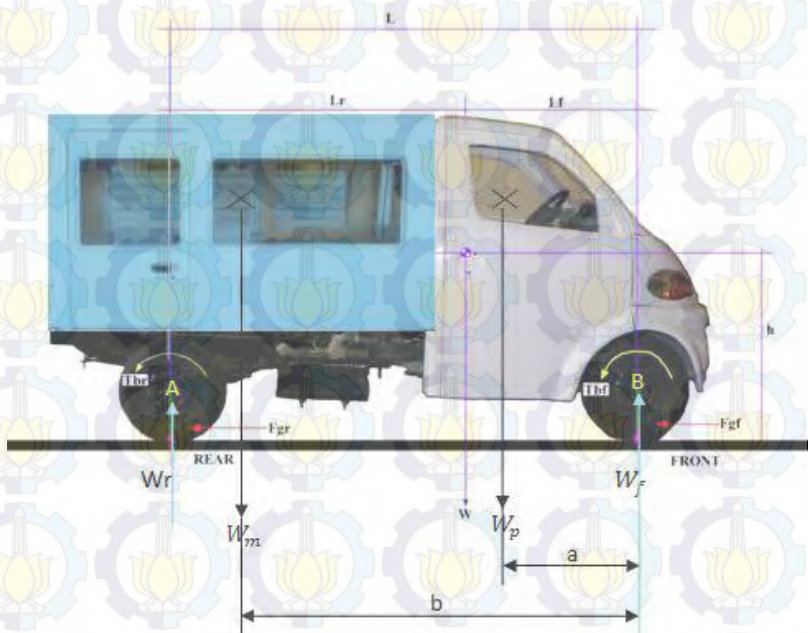
dimana :

$W$  = berat kendaraan =  $W_f + W_r$

$L$  = panjang total kendaraan =  $l_f + l_r$



Sedangkan untuk posisi titik berat setelah menerima pertambahan muatan dan penumpang dapat dicari dengan memperhatikan *free body diagram* pada gambar 2.2.



**Gambar 2. 2 *Free Body diagram* kendaraan produksi multiguna pedesaan setelah penambahan muatan dan penumpang [2].**

Berdasarkan gambar 2.2, maka persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 akan berubah seperti berikut:

$$W_r \cdot L = W_p \cdot a + W_k \cdot l_f + W_m \cdot b \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$l_f' = \frac{\sum W_i \cdot l_i}{\sum W_i} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$l_f' = \frac{W_r \cdot L}{W_t} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

$W_r$  = Berat bagian belakang

$W_f$  = Berat bagian depan

$W_k$  = Berat kendaraan

$W_m$  = Berat muatan

$W_t$  = Berat total kendaraan =  $W_p + W_k + W_m$

$L$  = Panjang total kendaraan

$a$  = Jarak titik berat penumpang ke sumbu roda depan

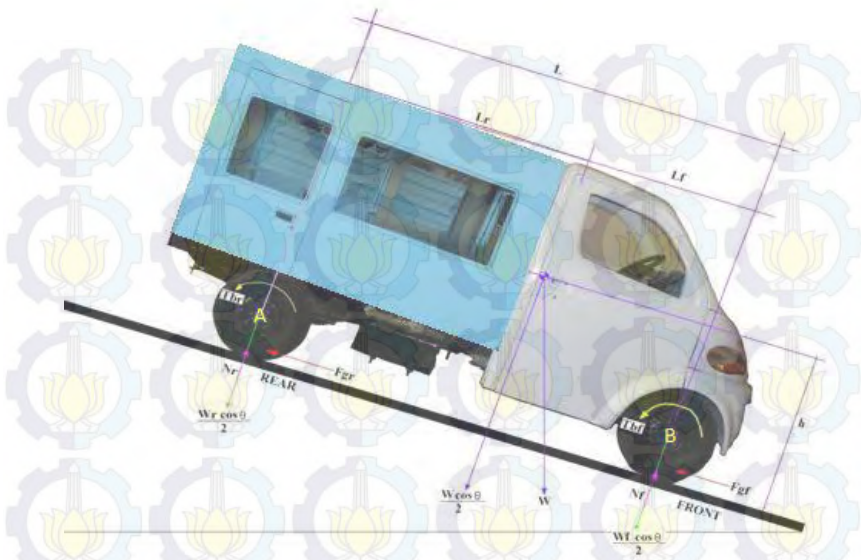
$b$  = Jarak titik berat muatan ke sumbu roda depan

$l_f$  = Jarak *center of gravity* ke sumbu roda depan

$l_r$  = Jarak *center of gravity* ke sumbu roda belakang

### 2.1.2 Posisi tinggi titik berat

Posisi tinggi titik berat dapat diketahui dengan menopang roda depan atau roda belakang dengan timbangan dan mendongkrak roda lainnya hingga membentuk sudut ( $\theta$ ). *Free body diagram* pada saat membentuk sudut dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2. 3 *Free Body diagram* kendaraan produksi multiguna pedesaan dengan posisi membentuk sudut  $\theta$  sebelum penambahan muatan dan penumpang [2].**

Berdasarkan gambar 2.3 dengan mengambil momen dari A didapatkan persamaan :

$$h_r = \frac{W_{f\theta} \cdot L - W l_r}{W \tan \theta} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$h = h_r + r \dots\dots\dots (2.7)$$

Sama seperti titik berat, nilai  $h_r$  juga akan berubah akibat pengaruh penambahan penumpang maka persamaan akan menjadi sebagai berikut :

$$h_r' = \frac{\sum W_i \cdot h_i}{\sum W_i} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$h_r' = \frac{W \cdot \sin \theta \cdot h_r + W_p \cdot \sin \theta \cdot h_p}{W \sin \theta + W_p \sin \theta} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$h_r' = \frac{W \cdot h_r + W_p \cdot h_p}{W + W_p} \dots\dots\dots (2.10)$$

Apabila dilakukan penambahan berat penumpang dan berat muatan, persamaan akan menjadi sebagai berikut :

$$h_r'' = \frac{\sum W_i \cdot h_i}{\sum W_i} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$h_r'' = \frac{(W+W_p) \cdot \sin \theta \cdot h_r' + W_m \cdot \sin \theta \cdot h_m}{(W+W_p) \cdot \sin \theta + W_m \sin \theta} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$h_r'' = \frac{(W+W_p) \cdot h_r' + W_m \cdot h_m}{W+W_p + W_m} \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

$W_{f\theta}$  = berat depan kendaraan saat ditimbang

$W$  = berat total kendaraan

$W_p$  = berat penumpang

$W_m$  = berat muatan

$h_p$  = jarak titik berat penumpang dengan sumbu roda

$h_m$  = jarak titik berat muatan dengan sumbu roda

$\theta$  = sudut dongkrak mobil

$r$  = jari-jari ban

$h_r'$  = tinggi pusat titik berat setelah penambahan berat penumpang

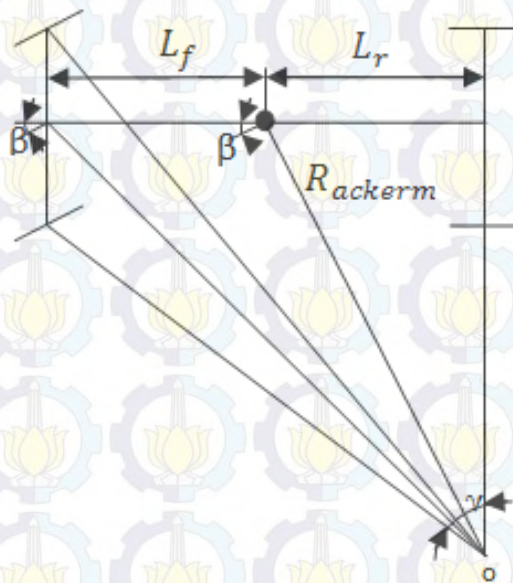
$h_r''$  = tinggi pusat titik berat setelah penambahan berat penumpang dan berat muatan



## 2.2 Perilaku Belok Kendaraan

### 2.2.1 Perilaku Kendaraan Belok Kondisi Ideal/Ackerman

Kualitas kestabilan dari kendaraan dapat ditunjukkan dengan gerakan kendaraan yang paling kritis, yaitu gerakan belok. Kondisi ideal kendaraan saat melakukan gerakan belok dikenal dengan nama kondisi Ackerman. Kondisi Ackerman adalah kondisi dimana pada saat berbelok tidak ada sudut slip yang terjadi pada ban sehingga arah gerak roda sama dengan arah bidang putar dari roda. Secara sederhana, gerakan kendaraan saat berbelok tampak seperti gambar di bawah ini:



Gambar 2. 4 Perilaku belok Ackerman [1]

Keterangan:

- O = sumbu pusat sesaat
- $R_{ackerman}$  = radius belok *Ackerman* (ideal) ( $^{\circ}$ )
- $\beta$  = *side slip angle* kendaraan ( $^{\circ}$ )
- $\gamma$  = sudut belok ideal ( $^{\circ}$ )

$\delta_f$  = sudut *steer* rata-rata roda depan ( $^\circ$ )

$L_f$  = jarak roda depan ke *Center of Gravity* kendaraan (m)

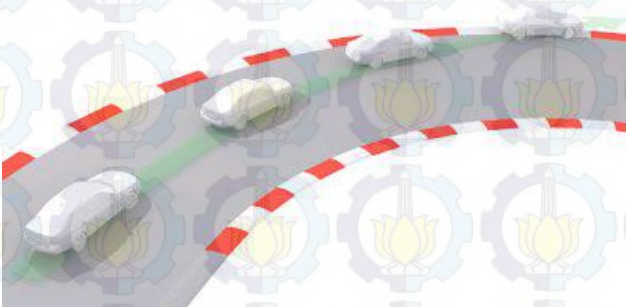
$L_r$  = jarak roda belakang ke *Center of Gravity* kendaraan (m)

Besarnya radius belok ideal (ackerman) secara sederhana dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan;

$$R_{ackerman} = \frac{l_f + l_r}{\delta_f} 57,29 \dots\dots\dots (2.14)$$

### 2.2.2 Perilaku *Understeer*

Kondisi *understeer* adalah kondisi dimana kendaraan sulit berbelok atau disebut juga kurang belok, sehingga memerlukan sudut belok yang lebih besar untuk radius tertentu seperti tampak pada gambar 2.4. Radius belok pada perilaku *understeer* juga lebih besar dibandingkan dengan radius belok kendaraan dengan perilaku normal. Kondisi ini biasanya terjadi karena mobil memasuki tikungan terlalu cepat. Kondisi *understeer* sangat berbahaya karena dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan bila mobil sampai keluar dari jalan.



**Gambar 2. 5 Perilaku *Understeer* [2]**

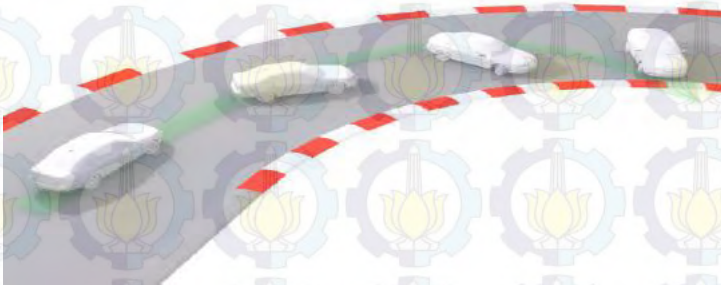
Cara untuk mengatasi perilaku *understeer* adalah dengan mengurangi kecepatan saat menikung sampai daya cengkram ban

kembali dan mobil menjadi lebih stabil, tidak menambah putaran setir, dan tidak melakukan pengereman. Sebaliknya, pengurangan putaran setir akan membuat mobil kembali stabil.

### 2.2.3 Perilaku *Oversteer*

Kondisi *oversteer* adalah kondisi dimana mobil berbelok melebihi yang diinginkan oleh pengemudi. Pada kondisi ini kendaraan menjadi sangat sulit untuk dikendalikan dan sering mengakibatkan '*lost of control*' dimana pengemudi tidak lagi mampu mengendalikan kendaraan dan menyebabkan terjadinya kecelakaan, kondisi ini tampak pada gambar 2.5. Hal ini terjadi akibat dilakukannya pengereman saat masuk tikungan.

Bila pengemudi mengerem pada saat kondisi menikung tersebut, berat mobil berpindah ke roda depan dan roda belakang kehilangan sebagian besar daya cengkramnya. Faktor lain yang menyebabkan kondisi *oversteer* adalah karena memutar setir secara tiba-tiba. Bahaya dari kondisi *oversteer* adalah mobil menjadi berputar tak terkendali dan menabrak sesuatu dari samping.



**Gambar 2. 6 Perilaku *Oversteer* [2]**

Menghindari terjadinya perilaku *oversteer* dapat dilakukan dengan cara mengurangi kecepatan mobil saat memasuki



tikungan. Namun jika kondisi *oversteer* terlanjur terjadi, cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal tersebut antara lain tidak melakukan pengereman, menggunakan *counter-attack* atau memutar setir kearah berlawanan, dan mengurangi injakan pada pedal gas dapat membantu mengembalikan kestabilan mobil yang mengalami *oversteer*.

### 2.3 Perhitungan *Side Slip angle*

*Side slip angle*  $\beta$  dapat dihitung menggunakan kondisi ideal kendaraan saat melakukan gerakan belok yang dikenal dengan nama *Ackerman*. Kondisi *Ackerman* menganggap bahwa tidak ada sudut slip yang terjadi pada ban sehingga arah gerak roda sama dengan arah bidang putar roda. Secara sederhana, gerakan kendaraan saat berbelok tampak seperti gambar 2.4.

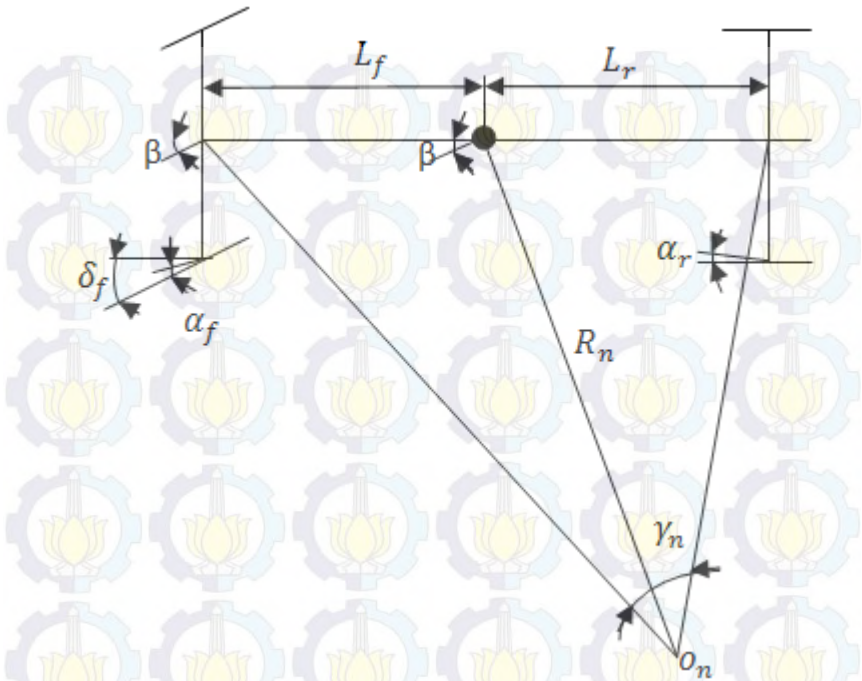
Karena radius belok *Ackerman* dianggap sama dengan radius belok minimum jalan, *side slip angle* ( $\beta$ ) dapat dihitung dengan secara sederhana dengan menggunakan persamaan trigonometri.

$$\sin \beta = \frac{l_r}{R_{ackerman}} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\beta = \arcsin \left( \frac{l_r}{R_{ackerman}} \right) \dots\dots\dots (2.16)$$

Radius belok nyata dari kendaraan dapat diketahui persamaan matematisnya dari gambar 2.7 :





**Gambar 2. 7 Kondisi nyata kendaraan belok [1].**

Dari gambar 2.7, Radius belok nyata kendaraan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R_n = \frac{L_f + L_r}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29$$

dengan :

$R_n$  = Radius belok nyata dari kendaraan

$\alpha_f$  = Besar sudut slip depan

$\alpha_r$  = Besar sudut slip belakang

## 2.4 Koefisien Gesek

Kekasaran permukaan jalan merupakan faktor utama yang mempengaruhi koefisien gesek antara ban dan jalan. Untuk jalan kering dengan permukaan halus akan memberikan koefisien gesek yang besar antara ban dan jalan, namun sebaliknya jika ia dalam keadaan basah maka akan memberi koefisien gesek yang kecil.

J.J taborek dari hasil studinya memberikan koefisien adhesi rata-rata antara ban dan jalan untuk bermacam jenis jalan yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

**Tabel 2. 1 Koefisien adhesi ban pada bermacam jenis jalan [1].**

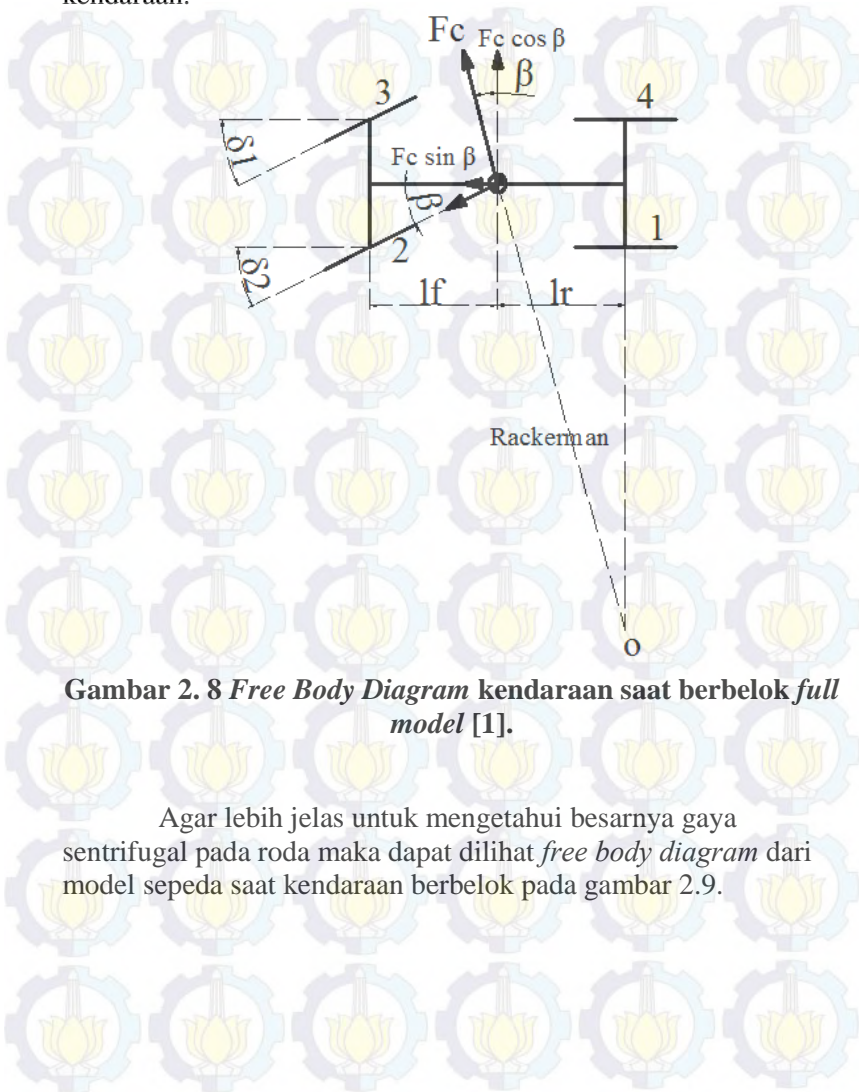
Permukaan jalan	Koefisien Adhesi tertinggi	Koefisien Adhesi roda lock
Aspal dan beton (kering)	0,8 - 0,9	0,75
Aspal (basah)	0,5 – 0,7	0,55 – 0,6
Beton (basah)	0,8	0,7
Gravel	0,6	0,55
Jalan tanah (kering)	0,68	0,65
Jalan tanah (basah)	0,55	0,4 – 0,5
Snow	0,2	0,15
Ice	0,1	0,07

## 2.5 Mengukur Perilaku Arah Kendaraan

### 2.5.1 Analisa Slip untuk Kendaraan Belok pada Jalan Miring

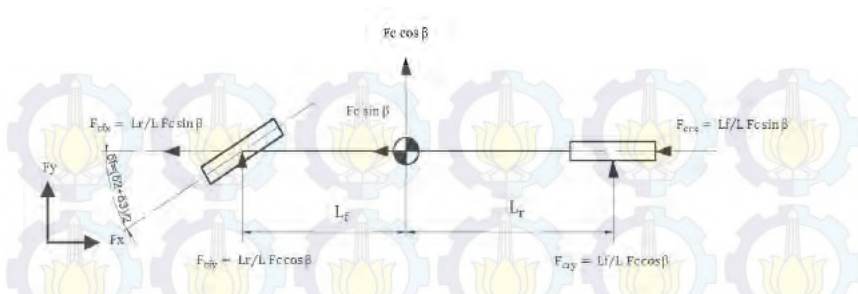
Untuk menganalisa slip pada kendaraan belok dengan jalan miring diperlukan gaya reaksi masing-masing roda agar dapat mencari sudut slip pada roda sehingga dapat diketahui perilaku arah kendaraan saat belok pada jalan miring. Pada gambar 2.8 tampak *free body diagram* kendaraan saat belok

dengan *full model* untuk mengetahui gaya sentrifugal pada kendaraan.



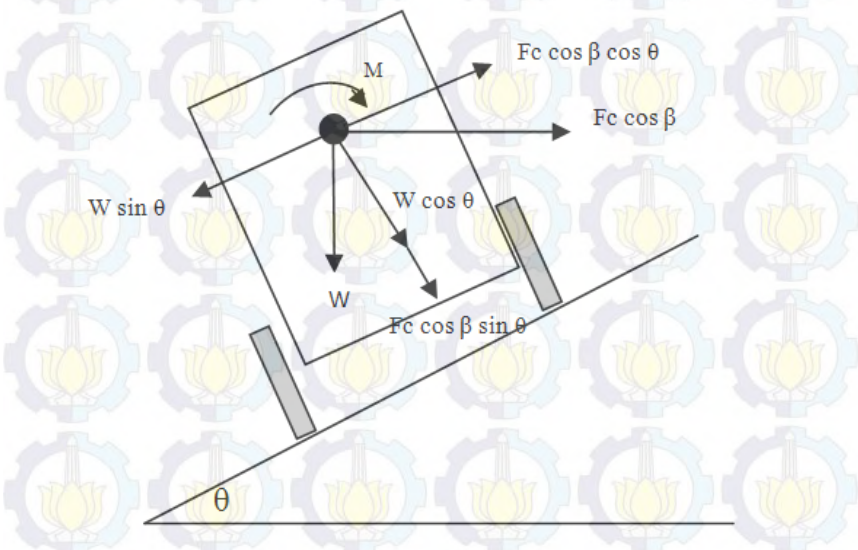
**Gambar 2. 8 Free Body Diagram kendaraan saat berbelok *full model* [1].**

Agar lebih jelas untuk mengetahui besarnya gaya sentrifugal pada roda maka dapat dilihat *free body diagram* dari model sepeda saat kendaraan berbelok pada gambar 2.9.



**Gambar 2. 9 Free Body Diagram kendaraan saat berbelok pada bidang datar *bicycle model* [1].**

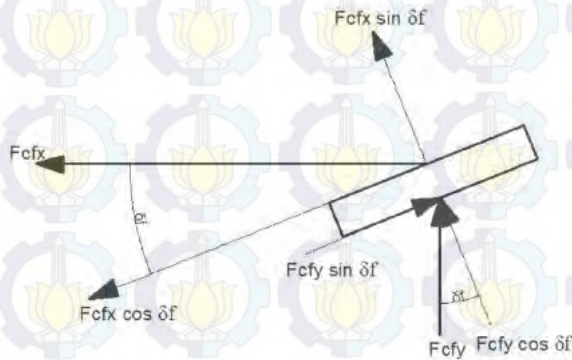
Untuk mengetahui  $F_y$  pada kendaraan belok dengan kondisi jalan miring, maka dapat dilihat pada gambar 2.10 yang menjelaskan *free body diagram* dari kendaraan belok pada jalan miring.



**Gambar 2. 10 Free Body Diagram untuk kendaraan belok pada jalan miring [3].**



Dinamika belok pada roda depan dapat ditunjukkan melalui *free body diagram* pada gambar 2.11.



**Gambar 2. 11 *Free Body Diagram* roda depan *bicycle model* [1].**

Berdasarkan gambar 2.9 dan gambar 2.10, maka didapatkan gaya sentrifugal kearah sumbu x dan sumbu y pada roda depan dan roda belakang:

Persamaan gaya sentrifugal pada roda depan :

$$F_{cfx} = \frac{L_r}{L} F_c \sin \beta \dots\dots\dots (2.18)$$

$$F_{cfy} = \frac{L_r}{L} ( F_c \cos \theta \cos \beta - W \sin \theta ) \dots\dots\dots (2.19)$$

Persamaan gaya sentrifugal pada roda belakang :

$$F_{crx} = \frac{L_f}{L} F_c \sin \beta \dots\dots\dots (2.20)$$

$$F_{cry} = \frac{L_f}{L} ( F_c \cos \theta \cos \beta - W \sin \theta ) \dots\dots\dots (2.21)$$

Dari gambar 2.8 , gambar 2.9, gambar 2.10 dan gambar 2.11 di atas maka dapat diperoleh persamaan  $F_x$  dan  $F_y$  pada roda depan, sebagai berikut :

$$F_{x_2} = \frac{1}{2} \left[ F_{c_{fx}} \cdot \cos \delta_f - F_{c_{fy}} \cdot \sin \delta_f \right] \dots\dots\dots (2.22)$$

$$F_{y_2} = \frac{1}{2} \left[ F_{c_{fy}} \cdot \cos \delta_f + F_{c_{fx}} \cdot \sin \delta_f \right] \dots\dots\dots (2.23)$$

$$F_{x_3} = \frac{1}{2} \left[ F_{c_{fx}} \cdot \cos \delta_f - F_{c_{fy}} \cdot \sin \delta_f \right] \dots\dots\dots (2.24)$$

$$F_{y_3} = \frac{1}{2} \left[ F_{c_{fy}} \cdot \cos \delta_f + F_{c_{fx}} \cdot \sin \delta_f \right] \dots\dots\dots (2.25)$$

Persamaan  $F_x$  dan  $F_y$  pada roda belakang, sebagai berikut :

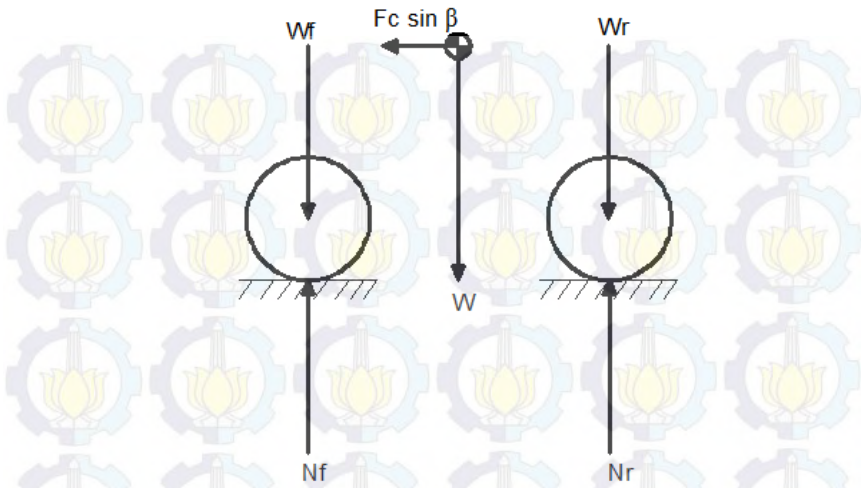
$$F_{x_1} = \frac{F_{crx}}{2} = \frac{L_f}{2 \cdot L} F_c \sin \beta \dots\dots\dots (2.26)$$

$$F_{y_1} = \frac{F_{cry}}{2} = \frac{L_f}{2 \cdot L} ( F_c \cos \theta \cos \beta - W \sin \theta ) \dots\dots\dots (2.27)$$

$$F_{x_4} = \frac{F_{crx}}{2} = \frac{L_f}{2 \cdot L} F_c \sin \beta \dots\dots\dots (2.28)$$

$$F_{y_4} = \frac{F_{cry}}{2} = \frac{L_f}{2 \cdot L} ( F_c \cos \theta \cos \beta - W \sin \theta ) \dots\dots\dots (2.29)$$

Untuk mengetahui berat roda depan dan berat roda belakang dapat diperhatikan dari *free body diagram* pada gambar 2.11.



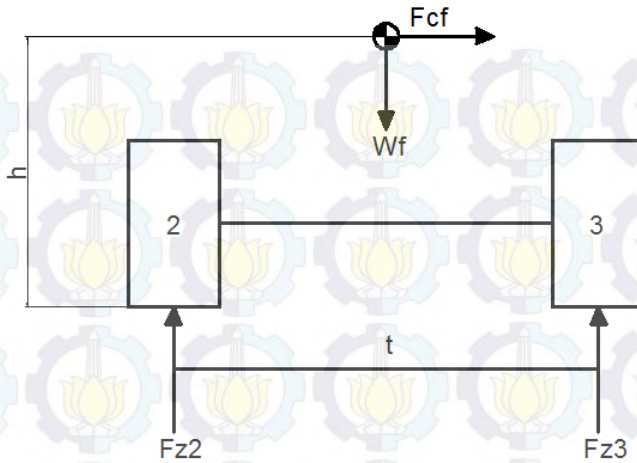
**Gambar 2. 12 Free Body Diagram tampak samping bicycle model [1].**

Dari gambar 2.12 maka dapat diperoleh persamaan berat roda belakang dan roda depan, sebagai berikut :

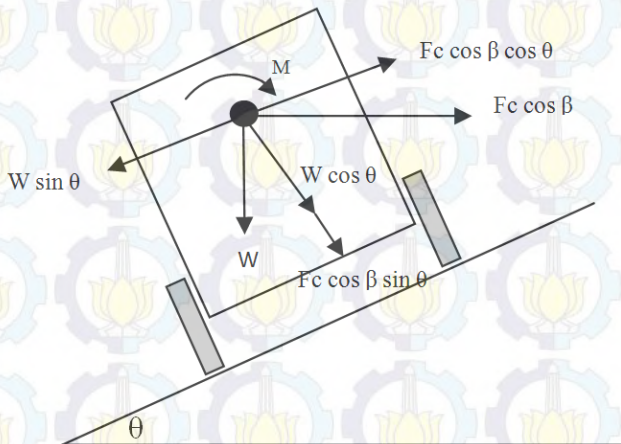
$$W_f = \frac{L_r}{L} W + \frac{F_c \cdot h \cdot \sin \beta}{L} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$W_r = \frac{L_f}{L} W - \frac{F_c \cdot h \cdot \sin \beta}{L} \dots\dots\dots (2.31)$$

Setelah mencari  $F_x$  dan  $F_y$  pada masing-masing roda dan dengan diketahuinya berat roda depan dan berat roda belakang, maka dapat diketahui pula  $F_z$  dari masing-masing roda tersebut dengan melihat *free body diagram* pada gambar 2.13 pada jalan datar dan gambar 2.14 pada jalan miring.



**Gambar 2. 13 *Free Body Diagram* kendaraan roda depan untuk mencari  $F_z$  pada jalan datar [1].**



**Gambar 2. 14 *Free Body Diagram* untuk kendaraan belok pada jalan miring [3].**



Dari gambar 2.13 dan gambar 2.14 maka dapat diperoleh persamaan  $F_z$  pada roda depan, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_{z_2} &= \frac{W_f}{2} + \frac{Fc_f h}{t} \\
 &= \frac{l_r}{2L} ( W \cos \theta + F_c \cos \beta \sin \theta ) - \frac{l_r}{2L} \\
 &\quad \left( \frac{F_c . h . \cos \beta . \cos \theta - W . h . \sin \theta}{0.5 . t_f} \right) + \frac{F_c . h \sin \beta}{2L} \dots \dots \dots (2.32)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{z_3} &= \frac{W_f}{2} + \frac{Fc_f h}{t} \\
 &= \frac{l_r}{2L} ( W \cos \theta + F_c \cos \beta \sin \theta ) + \frac{l_r}{2L} \\
 &\quad \left( \frac{F_c . h . \cos \beta . \cos \theta - W . h . \sin \theta}{0.5 . t_f} \right) + \frac{F_{cg} . h \sin \beta}{2L} \dots \dots \dots (2.33)
 \end{aligned}$$

Dari gambar 2.14 maka dapat diperoleh persamaan  $F_z$  pada roda belakang, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_{z_1} &= \frac{W_r}{2} - \frac{Fc_r h}{t} \\
 &= \frac{l_f}{2L} ( W \cos \theta + F_c \cos \beta \sin \theta ) - \frac{l_f}{2L} \\
 &\quad \left( \frac{F_c . h . \cos \beta . \cos \theta - W . h . \sin \theta}{0.5 . t_f} \right) - \frac{F_c . h \sin \beta}{2L} \dots \dots \dots (2.34)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{z_4} &= \frac{W_r}{2} - \frac{Fc_r h}{t} \\
 &= \frac{l_f}{2L} ( W \cos \theta + F_c \cos \beta \sin \theta ) + \frac{l_f}{2L} \\
 &\quad \left( \frac{F_c . h . \cos \beta . \cos \theta - W . h . \sin \theta}{0.5 . t_f} \right) - \frac{F_c . h \sin \beta}{2L} \dots \dots \dots (2.35)
 \end{aligned}$$

Rumusan sudut slip untuk ban radial baru :

$$\alpha_i = \frac{C_{rs}}{C_{rg}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{yi} \alpha)^{0,79008} - 0,005277 (F_{zi})] \dots (2.36)$$

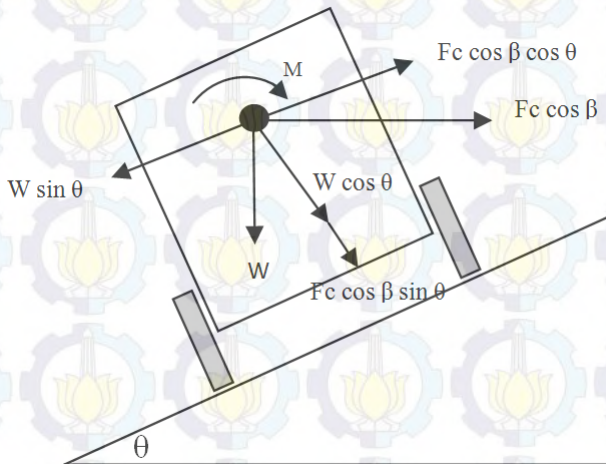
Ketika :

- $\alpha_f > \alpha_r$  , maka kendaraan akan mengalami *understeer*
- $\alpha_f < \alpha_r$  , maka kendaraan akan mengalami *oversteer*

## 2.5.2 Analisa Skid untuk Kendaraan Belok pada Jalan Miring

### 2.5.2.1 Analisa Skid untuk Roda Depan

Analisa skid untuk kendaraan belok pada jalan miring dapat dihitung dan diketahui persamaan matematisnya melalui *free body diagram* pada gambar 2.15.



**Gambar 2. 15** *Free Body Diagram* untuk kendaraan belok pada jalan miring [3].

Berdasarkan *Free Body Diagram* pada gambar 2.15, besarnya kecepatan maksimum agar roda depan tidak skid untuk kendaraan belok pada jalan miring dirumuskan berdasarkan komponen gaya sentrifugal dan gaya normal dari kendaraan.

a. Komponen gaya sentrifugal

$$F_{cf} = \frac{l_r}{L} (F_c \cos \theta \cos \beta - W \sin \theta) \dots\dots\dots (2.37)$$

b. Komponen gaya normal

$$F_{zf} = \frac{l_r}{L} (W \cos \theta + F_c \cos \beta \sin \theta) + \frac{F_c \cdot h \sin \beta}{L} \dots\dots (2.38)$$

Kondisi kritis dimana roda depan akan mulai skid terjadi apabila :

$$F_{cf} = \mu_m \cdot F_{zf}$$

Sehingga besarnya kecepatan maksimum agar roda depan tidak skid dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{fs} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot l_r (\sin \theta + \mu_m \cos \theta)}{l_r (\cos \theta - \mu_m \sin \theta) \cos \beta - \mu \cdot h \sin \beta}} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$\text{Dengan } F_{cg} = \frac{w v^2}{g \cdot R} \dots\dots\dots (2.40)$$

Dimana :

$V_{fs}$  = kecepatan maksimum roda depan (m/s)

$R$  = radius belok jalan (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$\mu_m$  = koefisien gesek melintang

$\theta$  = sudut kemiringan melintang ( $^\circ$ )

$\beta$  = sudut *side slip* ( $^\circ$ )

$h$  = tinggi *center of gravity* kendaraan (m)

$W$  = berat total kendaraan (Kg)

### 2.5.2.2 Analisa Skid untuk Roda Belakang

Besarnya kecepatan maksimum pada roda belakang agar kendaraan tidak skid dapat diketahui dengan cara yang sama untuk roda depan yaitu berdasarkan komponen gaya sentrifugal dan gaya normal dari kendaraan.

- a. Komponen gaya sentrifugal

$$F_{Cr} = \frac{l_f}{L} ( F_c \cos \theta \cos \beta - W \sin \theta ) \dots\dots\dots (2.41)$$

- b. Komponen gaya normal

$$F_{Zr} = \frac{l_f}{L} ( W \cos \theta + F_c \cos \beta \sin \theta ) - \frac{F_c . h \sin \beta}{L} \dots\dots\dots (2.42)$$

Kondisi kritis dimana roda belakang akan mulai skid terjadi apabila :  $F_{Cr} = \mu_m \cdot F_{Zr}$

Sehingga besarnya kecepatan maksimum agar roda depan tidak skid dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{rs} = \sqrt{\frac{R . g . l_f ( \sin \theta + \mu_m \cos \theta )}{l_f ( \cos \theta - \mu_m \sin \theta ) \cos \beta + \mu . h \sin \beta}} \dots\dots\dots (2.43)$$

$$\text{Dengan } F_{cg} = \frac{w v^2}{g . R}$$

$V_{rs}$  = kecepatan maksimum roda belakang (m/s)

Secara umum :

Jika  $V_{fs} > V_{rs}$  , skid roda belakang akan terjadi sebelum skid roda depan dan kendaraan cenderung *oversteer*.

Jika  $V_{fs} < V_{rs}$  , skid roda depan akan terjadi sebelum skid roda belakang dan kendaraan cenderung *understeer*.

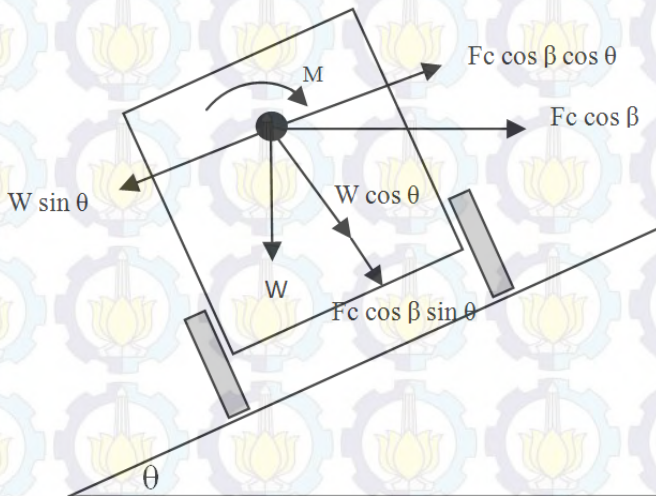


### 2.5.3 Analisa Guling untuk Kendaraan Belok pada Jalan Miring

Analisa guling bertujuan untuk mencari kondisi terangkatnya salah satu roda depan atau roda belakang. Jika satu roda depan terangkat maka kendaraan mengalami kondisi *understeer*, untuk roda belakang yang terangkat maka kendaraan mengalami kondisi *oversteer* dan apabila roda depan dan roda belakang terangkat maka kendaraan akan mengalami kondisi guling total.

#### 2.5.3.1 Analisa Guling untuk Roda Depan

Analisa guling untuk kendaraan belok pada jalan miring dapat dihitung dan diketahui persamaan matematisnya melalui *free body diagram* pada gambar 2.16.



**Gambar 2. 16 *Free Body Diagram* untuk kendaraan belok pada jalan miring [3].**

Berdasarkan gambar 2.16, maka besarnya kecepatan maksimum agar roda depan tidak mengalami guling dapat diketahui berdasarkan komponen gaya normal pada roda 2 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_{Z_2} = \frac{l_r}{L} ( W \cos \theta + F_{cg} \cos \beta \sin \theta ) - \frac{l_r}{L} \left( \frac{F_{cg} \cdot h \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta - W \cdot h \cdot \sin \theta}{0.5 \cdot t_f} \right) + \frac{F_{cg} \cdot h \sin \beta}{L} \dots \dots \dots (2.44)$$

Kondisi kritis roda depan akan mulai terjadi apabila :  $F_{Z_2} = 0$

Sehingga kecepatan maksimum agar roda depan tidak mengalami guling dapat diketahui berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$V_{fg} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot l_r \cdot (\cos \theta + h \cdot \sin \theta / 0.5 \cdot t_f)}{l_r \cdot h \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta / 0.5 \cdot t_f - (l_r \cos \beta \cdot \sin \theta + h \cdot \sin \beta)}} \dots \dots \dots (2.45)$$

$$\text{Dengan } F_{cg} = \frac{w \cdot v^2}{g \cdot R}$$

Dimana :

$V_{fg}$  = kecepatan maksimum kendaraan yang diizinkan agar roda depan tidak guling (m/s)

$R$  = radius belok jalan (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$\mu_m$  = koefisien gesek melintang

$\theta$  = sudut kemiringan melintang ( $^\circ$ )

$\beta$  = sudut *side slip* ( $^\circ$ )

$h$  = tinggi *center of gravity* kendaraan (m)

$t_f$  = lebar *track* depan (m)

$W$  = berat total kendaraan (Kg)

### 2.5.3.2 Analisa Guling untuk Roda Belakang

Berdasarkan gambar 2.16 maka besarnya kecepatan maksimum agar roda belakang tidak mengalami guling dapat diketahui berdasarkan komponen gaya normal pada roda 1 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_{Z_1} = \frac{l_f}{L} ( W \cos \theta + F_{cg} \cos \beta \sin \theta ) - \frac{l_f}{L} \left( \frac{F_{cg} . h . \cos \beta . \cos \theta - W . h . \sin \theta}{0.5 . t_r} \right) - \frac{F_{cg} . h \sin \beta}{L} \dots\dots\dots (2.46)$$

Kondisi kritis roda belakang akan mulai terjadi apabila :  $F_{Z_1} = 0$

Sehingga kecepatan maksimum agar roda depan tidak mengalami guling dapat diketahui berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$V_{rg} = \sqrt{\frac{R . g . l_f . (\cos \theta + h . \sin \theta / 0.5 . t_r)}{l_f . h . \cos \beta . \cos \theta / 0.5 . t_r - (-h . \sin \beta + l_f \cos \beta . \sin \theta)}} \dots\dots\dots (2.47)$$

Dengan  $F_{cg} = \frac{w v^2}{g . R}$

Dimana :

$V_{rg}$  = Kecepatan maksimum kendaraan yang diizinkan agar roda belakang tidak guling (m/s)

$t_r$  = lebar *track* belakang (m)

Secara umum :

Jika  $V_{fg} > V_{rg}$  , satu roda belakang terangkat sebelum satu roda depan terangkat dan kendaraan cenderung *oversteer*.

Jika  $V_{fs} < V_{rs}$  , satu roda depan terangkat sebelum satu roda belakang terangkat dan kendaraan cenderung *understeer*.

### 2.5.4 Analisa understeer (Kus)

Metoda ini dimaksudkan untuk mencari *understeer* indeks ( $K_{us}$ ) dan kecepatan karakteristik ( $V_{ch}$ ). *Understeer* indeks ( $K_{us}$ ) yaitu besaran yang dapat mengidentifikasi perilaku arah dari kendaraan belok. Kecepatan karakteristik ( $V_{ch}$ ) adalah kecepatan maksimum bagi kendaraan *understeer*. Apabila kendaraan *understeer* melebihi kecepatan karakteristiknya, maka kendaraan tersebut akan sangat sulit untuk berbelok.

Persamaan sudut belok roda depan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\delta_f = \frac{a+b}{R} 57,29 + \alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ \dots\dots\dots (2.48)$$

Dengan :

$R$  = Radius belok nyata dari kendaraan

$\alpha_f^\circ$  = Besar sudut slip depan

$\alpha_r^\circ$  = Besar sudut slip belakang

Sudut Slip depan dan belakang

$$\alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ = K_f \cdot \frac{V^2}{R \cdot g} - K_r \cdot \frac{V^2}{R \cdot g} \dots\dots\dots (2.49)$$

$$= (K_f - K_r) \cdot \frac{V^2}{R \cdot g} \dots\dots\dots (2.50)$$

$$= K_{us} \cdot \frac{V^2}{R \cdot g} \dots\dots\dots (2.51)$$

$$K_{us} = (\alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ) \frac{R \cdot g}{V^2} \dots\dots\dots (2.52)$$

dimana :

$K_f, K_r$  = Konstanta kekakuan lateral roda depan dan belakang

$K_{us}$  = Indeks Understeer

$V$  = Kecepatan Kendaraan Belok

$g$  = percepatan gravitasi



Dengan memasukkan persamaan (2.47) dan (2.50) maka didapatkan :

$$\delta_f = \frac{a+b}{R} 57,29 + K_{us} \frac{v^2}{R.g} \dots\dots\dots (2.53)$$

Dari rumusan kinematika didapatkan kecepatan putaran bodi atau yaw ( $\dot{\theta}$ ) sebagai berikut :

$$\dot{\theta} = \frac{v}{R} \dots\dots\dots (2.54)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2.52) dan (2.53) , maka :

$$\frac{\dot{\theta}}{\delta_f} = \frac{v}{L . 57,29 + K_{us} . \frac{v}{R}} \dots\dots\dots (2.55)$$

Kecepatan karakteristik didapatkan dari persamaan berikut :

$$V_{ch} = \sqrt{\frac{57,29 . L.g}{K_{us}}} \dots\dots\dots (2.56)$$

Dari persamaan-persamaan di atas didapatkan nilai  $K_{us}$  sebagai berikut, ketika :

- a.  $K_{us} = 0$  , maka kendaraan netral
- b.  $K_{us} = +$  , maka kendaraan *understeer*
- c.  $K_{us} = -$  , maka kendaraan *oversteer*

## 2.6 Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian terdahulu tentang analisa stabilitas kendaraan yang telah dilakukan antara lain oleh Muhammad Ashadi Fitrawan mengenai Analisa Steering Linkage Pada Inka GEA dan Stabilitas dengan Variabel Kecepatan, Sudut Belok Terhadap Beban Muatan dan Posisi Muatan pada tahun 2012.

Analisa ini hanya dilakukan pada jalan datar dengan kondisi jalan kering. Hasil yang diperoleh adalah grafik antara nilai *understeer index* ( $K_u$ ) dengan sudut belok kendaraan ( $\delta_f$ ) dan merekomendasikan *system steering linkage* yang memiliki kondisi mendekati optimal.

Dari analisa didapatkan bahwa semakin besar kecepatan belok dan sudut steer dari kendaraan, maka sudut slip yang terbentuk akan semakin besar. Nilai CG akan bergeser dengan bertambahnya berat muatan. Apabila CG bergeser ke depan maka kendaraan cenderung *understeer* dan apabila CG bergeser ke belakang maka kendaraan cenderung menjadi *oversteer*. Kecenderungan *oversteer* semakin besar pada saat roda 1 terangkat dan pada saat ini kendaraan sudah masuk kategori *unsafe*. Kecenderungan roda 1 untuk terangkat dengan sudut terbesar adalah pada sudut  $14^\circ$ , dicapai pada muatan 500 kg baik di posisi 1 maupun posisi 2 dan dicapai pada kecepatan 40 km/jam. Kecenderungan untuk guling dicapai pada sudut terbesar pada  $21^\circ$  pada muatan 1000 kg dan pada kecepatan 40 km/jam. Sedangkan pada kecepatan 80 km/jam kendaraan guling pada kisaran  $4^\circ$ - $5^\circ$ . [4]

Penelitian selanjutnya oleh Rizqi An Naafi telah menganalisa perilaku arah Mobil GEA Pada Lintasan Belok Menurun Dengan Variasi Kecepatan, Berat Muatan, Sudut Kemiringan Melintang, Sudut Turunan Jalan Dan Radius Belok Jalan pada tahun 2013. Analisa ini hanya dilakukan pada jalan yang memiliki koefisien adhesi aspal dan tidak memperhitungkan sudut slip roda. Didapatkan hasil:

1. Berdasarkan analisa *understeer* dan *oversteer* serta analisa *skid* diperoleh apabila kendaraan tanpa muatan mengalami kondisi *understeer* namun saat terdapat muatan 500kg, 750kg dan 1000kg kendaraan mengalami kondisi *oversteer*. Sedangkan menurut analisa guling pada semua muatan akan terjadi *oversteer*. [3]
2. Harga  $V_f$ s dan  $V_r$ s menurut analisa *skid* naik seiring dengan pertambahan sudut kemiringan melintang jalan

dan radius beloknya. Harga Vfs naik seiring pertambahan muatan namun harga Vrs mengalami penurunan. [3]

3. Berdasarkan analisa guling harga Vfg dan Vrg naik seiring pertambahan sudut kemiringan melintang jalan dan radius beloknya. [3]
4. Kecepatan maksimum terbesar menurut analisa *understeer* dan *oversteer* terdapat pada kendaraan tanpa muatan, sudut turunan jalan  $20^\circ$ , yaitu sebesar 16,67 km/jam. Sedangkan kecepatan maksimum terkecil adalah pada berat dengan muatan 1000kg dan sudut turunan jalan  $45^\circ$  yaitu sebesar 6,4 km/jam. [3]

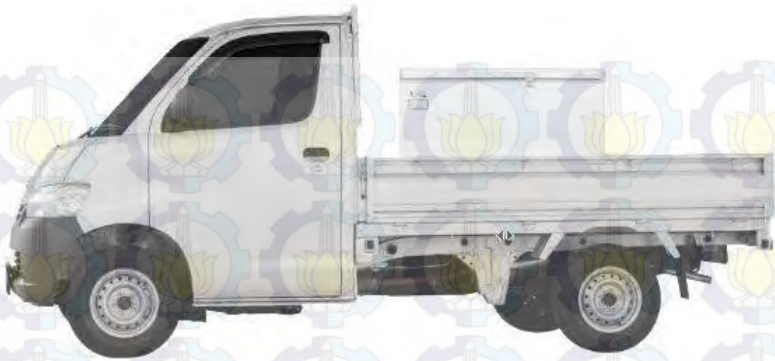
## 2.7 Data Teknis Kendaraan

Kendaraan produksi multiguna pedesaan memiliki spesifikasi sebagai berikut:



**Gambar 2. 17 Kendaraan produksi multiguna pedesaan dengan muatan Multi Purpose Thresher**





**Gambar 2. 18 Kendaraan produksi multiguna pedesaan dengan muatan Freezer**

**Tabel 2. 2 Spesifikasi Kendaraan Produksi Multiguna [5]**

Overall length		4195 mm
Overall width		1675 mm
Overall height		1890 mm
Wheelbase		2650 mm
Track	Front	1460 mm
	Rear	1440 mm
Min. road clearance	Kerb weight	175 mm
Load deck length		2350 mm
Load deck width		1585 mm
load deck height		360 mm
Min. turning circle	Kerb to kerb	9,4 mm
	Wall to wall	10 mm



Kerb	1025-1045 kg
Gross vehicle weight	2100 kg
Seat capacity	3(2) persons

**Tabel 2. 3 Spesifikasi Muatan Multi Purpose Thresher [6]**

Model	TPA-1000 MG	
Putaran poros utama	600-650 rpm	
Kapasitas	Padi	450-800 kg/jam
	Kedelai	330-450 kg/jam
	Jagung	1800-2000 kg/jam
Kebutuhan daya	7-8 Hp	
Dimensi Thresher (P x L x T)	1430 x 1200 x 1510 mm	
Dimensi Keseluruhan (P x L x T)	1750 x 1200 x 1510 mm	
Berat tanpa motor	182 kg	
Panjang jerami	400-550 mm	
Panjang tangkai kedelai	400-550 mm	

**Tabel 2. 4 Spesifikasi Muatan Freezer [7]**

Exterior Dimensions (W x D x H)	1092,2 x 571,5 x 793,75 mm
Interior Dimensions (W x D x H)	920,75 x 444,5 x 615,95 mm
Net Volume	0,238 m <sup>3</sup>
Net Weight	439,985 kg
Voltage	110 V
Ampere	1,4 A
Hz	60 Hz
Phase	1
Input Power	150 W
Temp Range	(-12,2°C) - (-20°C)



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB III**

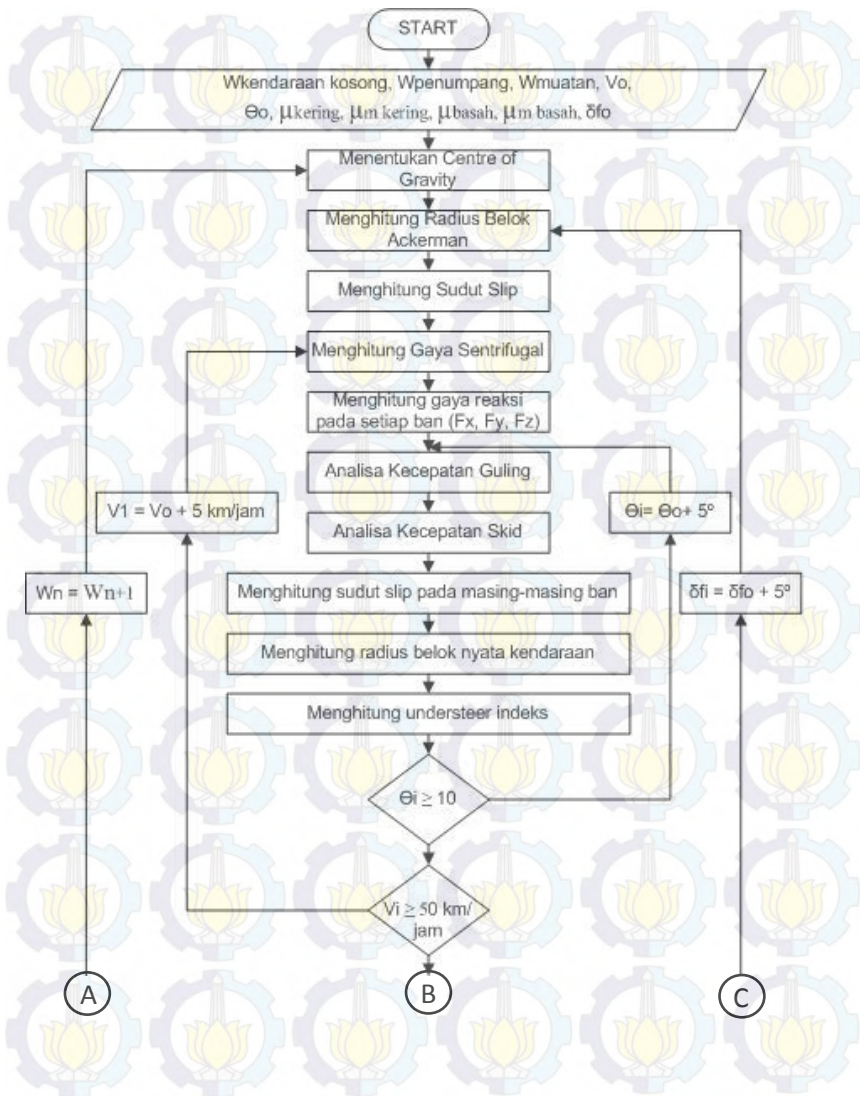
### **METODOLOGI**

#### **3.1 Prosedur Penelitian**

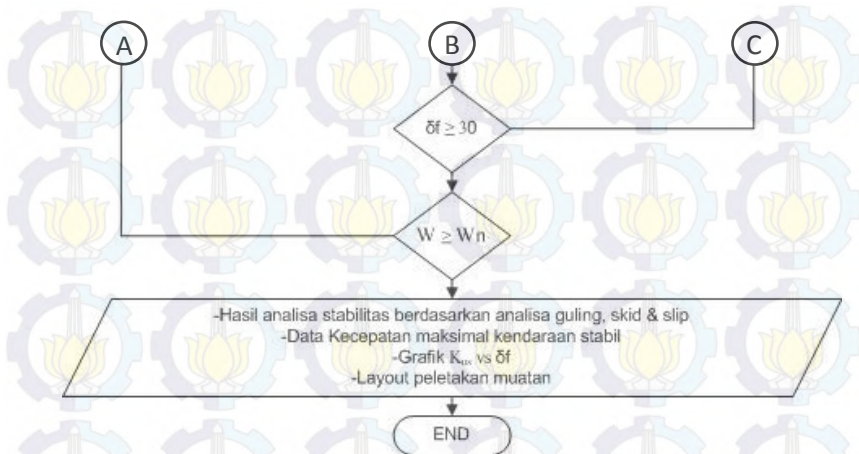
Proses penyusunan tugas akhir ini, prosedur penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

- Tahap awal, penelitian dilakukan studi literatur dari berbagai buku, jurnal-jurnal ilmiah dan penelitian-penelitian terdahulu yang terkait dengan kestabilan arah kendaraan.
- Tahap kedua, yaitu penentuan objek mobil yang akan diteliti, dalam hal ini mobil yang akan diteliti adalah kendaraan produksi multiguna pedesaan.
- Tahap terakhir, setelah didapatkan data spesifikasi dari kendaraan produksi multiguna pedesaan dilakukan analisa kestabilan arah kendaraan tersebut berdasarkan analisa slip, skid dan guling. Lalu dapat dilakukan penarikan kesimpulan.

### 3.2 Flowchart Perhitungan







### 3.3 Prosedur Perhitungan

Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam perhitungan stabilitas arah kendaraan produksi multiguna pedesaan adalah sebagai berikut:

1. Mencari data-data dari spesifikasi kendaraan produksi multiguna pedesaan yang akan digunakan sebagai data input, meliputi: lokasi center of gravity (CG), berat kendaraan serta jenis dan ukuran ban.
2. Mengumpulkan data input lain yang akan divariasikan dalam perhitungan, seperti variasi kecepatan, sudut turunan jalan, sudut kemiringan jalan, berat muatan serta dimensi muatan
  - Muatan Multi Purpose Thresher  
Ws= 182 kg, Dimensi PxLxT= 1430 x 1200 x 1510 (mm)
  - Muatan Freezer

$W_d = 208 \text{ kg}$ , Dimensi  $P \times L \times T = 1092,5 \times 571,5 \times 793,75 \text{ (mm)}$

- Sudut belok ( $\delta f$ ) divariasikan  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$  dan  $30^\circ$ .
- Kecepatan ( $V$ ) yang divariasikan:  $20 \text{ km/jam}$ ,  $25 \text{ km/jam}$ ,  $30 \text{ km/jam}$ ,  $35 \text{ km/jam}$ ,  $40 \text{ km/jam}$ ,  $45 \text{ km/jam}$  dan  $50 \text{ km/jam}$ ;
- Sudut kemiringan melintang jalan ( $\theta$ ) yang divariasikan:  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ .
- Jarak titik berat muatan ke sumbu roda depan ( $b$ )
- Jarak titik berat penumpang ke sumbu roda depan ( $a$ )
- Koefisien adhesi jalan  
 $\mu$  aspal kering =  $0,9$   
 $\mu$  aspal basah =  $0,7$
- Koefisien gesek melintang permukaan jalan  
 $\mu$  aspal kering =  $0,8 \times 0,9 = 0,72$   
 $\mu$  aspal basah =  $0,8 \times 0,7 = 0,56$

3. Mencari perubahan center of gravity karena adanya penambahan muatan

$$W_r \cdot L = W_p \cdot a + W_k \cdot l_f + W_m \cdot b$$

$$l_f' = \frac{W_r \cdot L}{W_t}$$

$$h_r = \frac{W_{f\theta} \cdot L - W l_r}{W \tan \theta}$$

$$h_r' = \frac{W \cdot h_r + W_p \cdot h_p}{W + W_p}$$

$$h_r'' = \frac{(W + W_p) \cdot h_r' + W_m \cdot h_m}{W + W_p + W_m}$$

$$h = h_r'' + 0,5 D_{roda}$$

4. Mencari Radius belok *ackerman* kendaraan dengan

$$R_{ack} = \left( \frac{L}{\delta_f} \right) 57,29$$

5. Mencari sudut side slip kendaraan dengan

$$\beta = \arcsin \left( \frac{l_r}{R_{ack}} \right)$$

6. Menghitung besarnya gaya sentrifugal ( $F_c$ )

$$F_c = \frac{W \cdot V^2}{g \cdot R}$$

7. Menghitung gaya reaksi yang diterima oleh tiap-tiap ban pada arah sumbu x,y dan z

8. Menghitung kecepatan maksimum kendaraan berdasarkan analisa guling

$$V_{fg} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot l_r \cdot (\cos \theta + h \cdot \sin \theta / 0.5 \cdot t_f)}{l_r \cdot h \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta / 0.5 \cdot t_f - (l_r \cos \beta \cdot \sin \theta + h \cdot \sin \beta)}}$$

$$V_{rg} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot l_f \cdot (\cos \theta + h \cdot \sin \theta / 0.5 \cdot t_r)}{l_f \cdot h \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta / 0.5 \cdot t_r - (h \cdot \sin \beta - l_f \cos \beta \cdot \sin \theta)}}$$

9. Menghitung kecepatan maksimum kendaraan berdasarkan analisa skid

$$V_{fs} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot l_r (\sin \theta + \mu_m \cos \theta)}{l_r (\cos \theta - \mu_m \sin \theta) \cos \beta - \mu \cdot h \sin \beta}}$$

$$V_{rs} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot l_f (\sin \theta + \mu_m \cos \theta)}{l_f (\cos \theta - \mu_m \sin \theta) \cos \beta + \mu \cdot h \sin \beta}}$$

10. Menghitung sudut slip tiap ban ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ), sudut slip roda depan  $\alpha_f$  merupakan rata-rata dari kedua sudut

slip pada ban roda depan sebelah kiri dan kanan  $\frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{2}$ .

Begitu juga menghitung sudut slip roda belakang  $\frac{(\alpha_3 + \alpha_4)}{2}$ .

11. Menghitung radius belok nyata

$$R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29$$

12. Menghitung besarnya *understeer indeks* (Kus)

$$K_{us} = (\alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ) \frac{R \cdot g}{v^2}$$

13. Analisa kondisi kendaraan apakah mengalami *understeer* atau *oversteer*

14. Mendapatkan output dari analisa kestabilan arah kendaraan riset grandong:

- Tabel perilaku kendaraan *understeer* atau *oversteer* dari analisa guling, analisa *skid*, dan analisa slip.
- Grafik antara nilai *understeer indeks* dengan sudut belok rata-rata roda depan.

15. Menentukan *layout* kendaraan yang paling baik.



## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

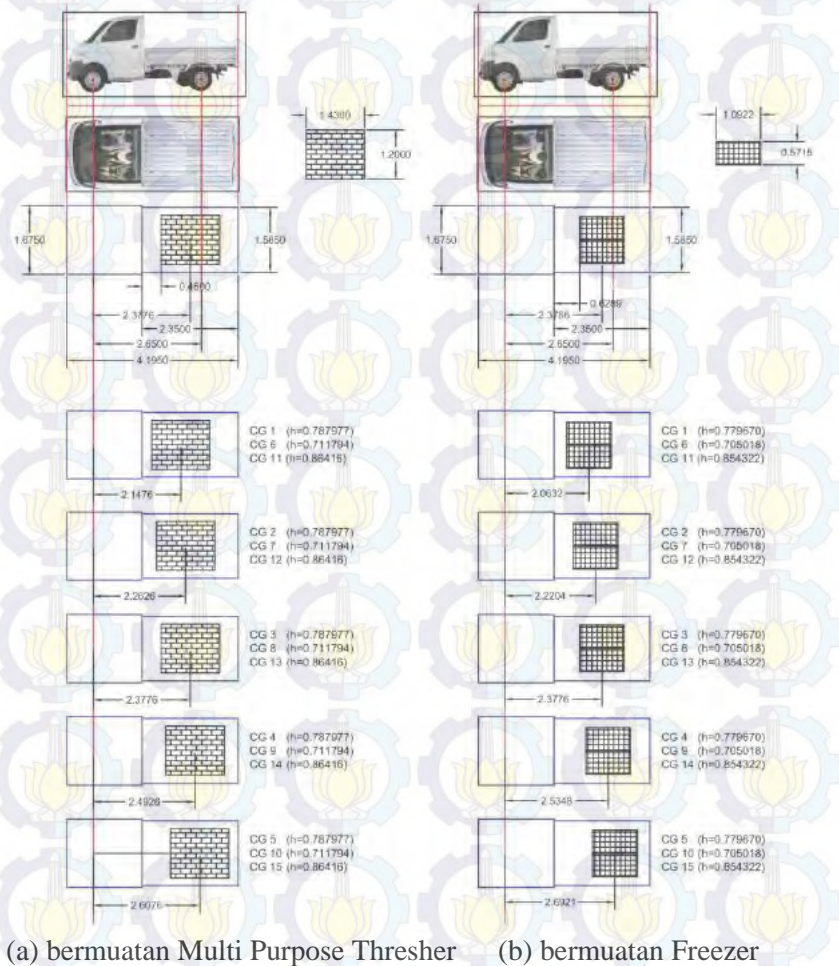
#### 4.1 Data dan Spesifikasi Kendaraan

Dari perencanaan ini akan didapatkan spesifikasi kendaraan yang diharapkan sesuai dengan tujuan. Adapun rancangan spesifikasi Kendaraan Produksi Multiguna Pedesaan dapat dilihat pada tabel 4.1 :

**Tabel 4. 1 Spesifikasi Kendaraan Produksi Multiguna Pedesaan**

<b>Dimensi</b>	
Jarak sumbu roda (L)	2650 mm
Jarak CG ke sumbu roda depan ( $L_f$ )	1060 mm
Jarak CG ke sumbu roda belakang ( $L_r$ )	1590 mm
Jarak CG ke ground ( $h_1$ )	450 mm
Jarak CG ke ground ( $h_2$ )	350 mm
Jarak CG ke ground ( $h_3$ )	550 mm
Lebar track depan ( $t_f$ )	1460 mm
Lebar track belakang ( $t_r$ )	1440 mm
Jarak CG penumpang ke poros depan ( $h_p$ )	560 mm
Jarak CG muatan ke poros depan ( $h_m$ )	834,7 mm
<b>Berat</b>	
Berat total	966 kg
<b>Ban (P 165/65 R13)</b>	
Jenis	Radial
Diameter roda	544,7 mm
Lebar	165 mm
Koefisien adhesi aspal basah ( $\mu_b$ )	0,7
Koefisien adhesi aspal kering ( $\mu_k$ )	0,9

Setelah mendapatkan rancangan spesifikasi kendaraan dilanjutkan menentukan variasi rancangan posisi titik berat kendaraan. Variasi dilakukan dengan melakukan perubahan posisi muatan yang diilustrasikan pada gambar berikut :



**Gambar 4.1 Variasi posisi *Center of Gravity* kendaraan**

Adapun rancangan posisi titik berat dengan kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher yang akan dianalisa dalam Tugas Akhir ini seperti pada tabel 4.2 :

**Tabel 4. 2 Variasi rancangan posisi titik berat dengan kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher**

Variasi	Lf (m)	Lr (m)	h (m)
CG 1	1.197179	1.452821	0.787977
CG 2	1.213685	1.436315	0.787977
CG 3	1.230192	1.419808	0.787977
CG 4	1.246698	1.403302	0.787977
CG 5	1.263204	1.386796	0.787977
CG 6	1.197179	1.452821	0.711794
CG 7	1.213685	1.436315	0.711794
CG 8	1.230192	1.419808	0.711794
CG 9	1.246698	1.403302	0.711794
CG 10	1.263204	1.386796	0.711794
CG 11	1.197179	1.452821	0.86416
CG 12	1.213685	1.436315	0.86416
CG 13	1.230192	1.419808	0.86416
CG 14	1.246698	1.403302	0.86416
CG 15	1.263204	1.386796	0.86416

Adapun rancangan posisi titik berat dengan kendaraan bermuatan Freezer yang akan dianalisa dalam Tugas Akhir ini seperti pada tabel 4.2 :

**Tabel 4. 3 Variasi rancangan posisi titik berat dengan kendaraan bermuatan Freezer**

Variasi	Lf (m)	Lr (m)	h (m)
CG 1	1.202701082	1.447298918	0.779670402



Variasi	Lf (m)	Lr (m)	h (m)
CG 2	1.227973725	1.422026275	0.779670402
CG 3	1.253246368	1.396753632	0.779670402
CG 4	1.278519011	1.371480989	0.779670402
CG 5	1.303791654	1.346208346	0.779670402
CG 6	1.202701082	1.447298918	0.705018161
CG 7	1.227973725	1.422026275	0.705018161
CG 8	1.253246368	1.396753632	0.705018161
CG 9	1.278519011	1.371480989	0.705018161
CG 10	1.303791654	1.346208346	0.705018161
CG 11	1.202701082	1.447298918	0.854322643
CG 12	1.227973725	1.422026275	0.854322643
CG 13	1.253246368	1.396753632	0.854322643
CG 14	1.278519011	1.371480989	0.854322643
CG 15	1.303791654	1.346208346	0.854322643

Data tentang variasi kecepatan, sudut belok, koefisien gesek dan sudut kemiringan melintang jalan, serta data lain yang mendukung perhitungan perilaku kendaraan ditampilkan sebagai berikut :

- $V_1 = 20$  km/jam,  $V_2 = 25$  km/jam,  $V_3 = 30$  km/jam,  $V_4 = 35$ , km/jam,  $V_5 = 40$  km/jam,  $V_6 = 45$  km/jam, dan  $V_7 = 50$  km/jam
- $\delta_{f1} = 5^\circ$ ,  $\delta_{f2} = 10^\circ$ ,  $\delta_{f3} = 15^\circ$ ,  $\delta_{f4} = 20^\circ$ ,  $\delta_{f5} = 25^\circ$ , dan  $\delta_{f6} = 30^\circ$
- $\theta_1 = 0^\circ$ ,  $\theta_2 = 5^\circ$  dan  $\theta_3 = 10^\circ$
- $\mu_{mb} = 0,56$  dan  $\mu_{mk} = 0,72$



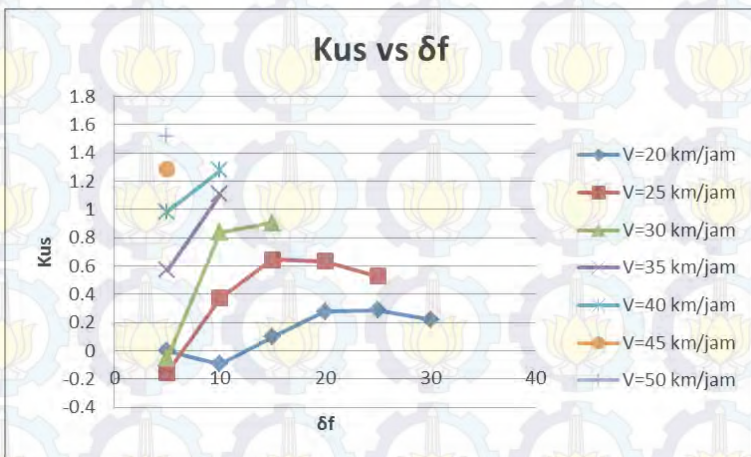
- $M_{\text{kendaraan}} = 966 \text{ kg}$ ,  $M_{\text{penumpang}} = 120 \text{ kg}$ ,  
 $M_{\text{muatan Multi Purpose Thresher}} = 182 \text{ kg}$  dan  
 $M_{\text{muatan Freezers}} = 208 \text{ kg}$

## 4.2 Analisa Kestabilan Arah Kendaraan

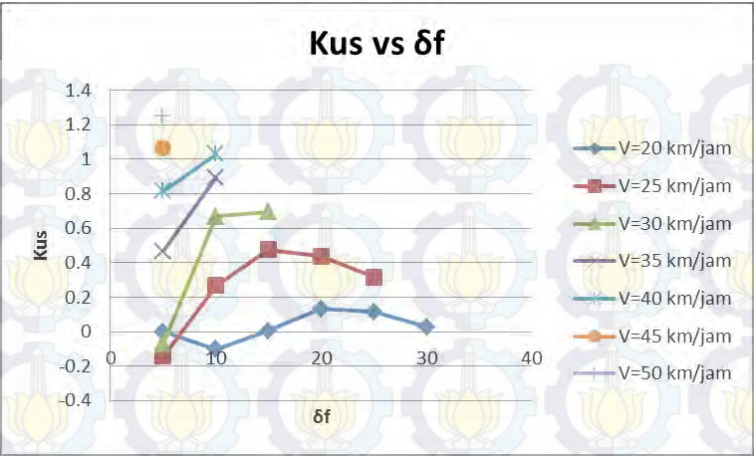
### 4.2.1 Analisa Kestabilan Arah Kendaraan Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher

#### 4.2.1.1 Variasi Posisi CG Kendaraan Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher

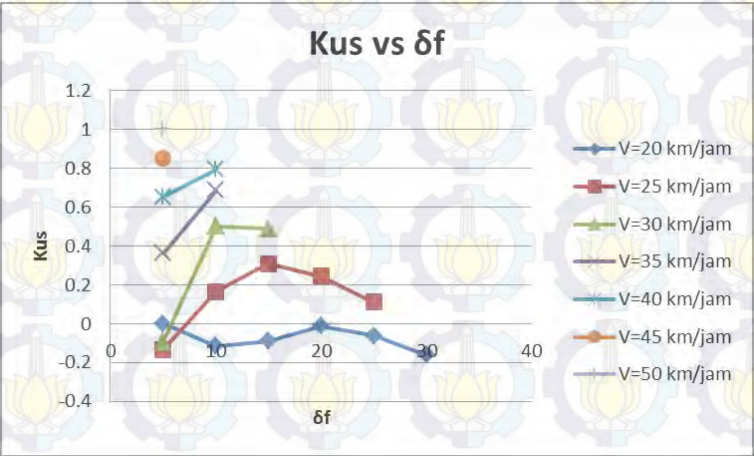
Berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien *understeer*, didapatkan grafik Koefisien *Understeer* (Kus) dengan sudut belok ( $\delta_f$ ) Kendaraan Bermuatan *Multi Purpose Thresher* pada berbagai posisi titik berat yang menunjukkan kurva antara nilai koefisien *understeer* terhadap sudut belok kendaraan. Trendline dari nilai koefisien *understeer* ini berbeda beda untuk setiap nilai kecepatan kendaraan. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



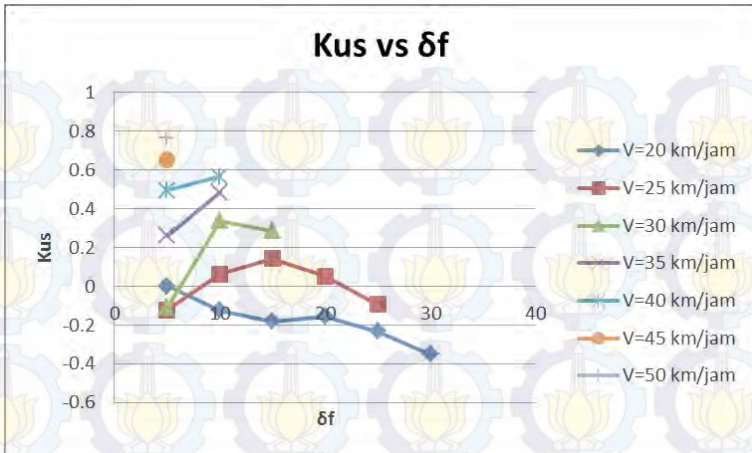
**Gambar 4. 2 Grafik Kus vs  $\delta_f$  posisi CG 1 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**



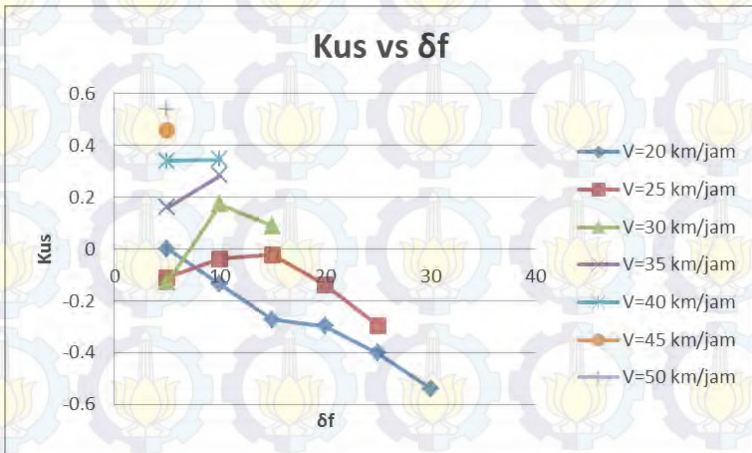
**Gambar 4. 3 Grafik Kus vs  $\delta_f$  posisi CG 2 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**



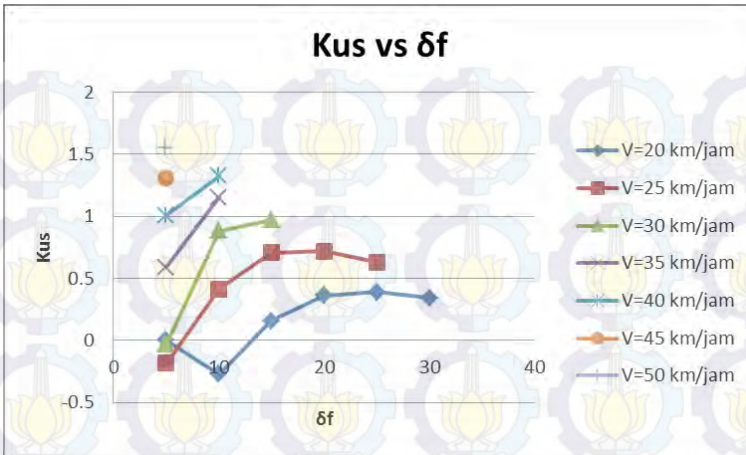
**Gambar 4. 4 Grafik Kus vs  $\delta_f$  posisi CG 3 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**



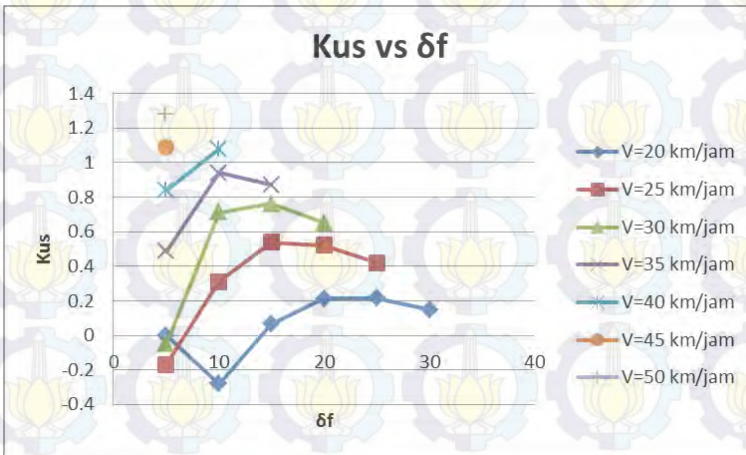
**Gambar 4. 5 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 4 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**



**Gambar 4. 6 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 5 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**

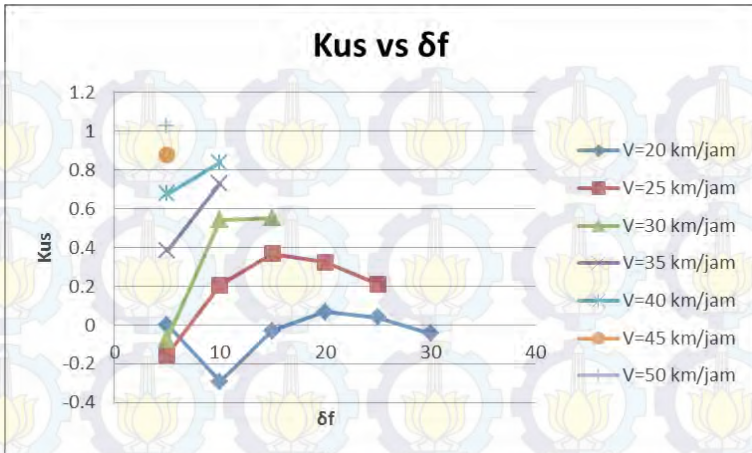


**Gambar 4. 7 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 6 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**

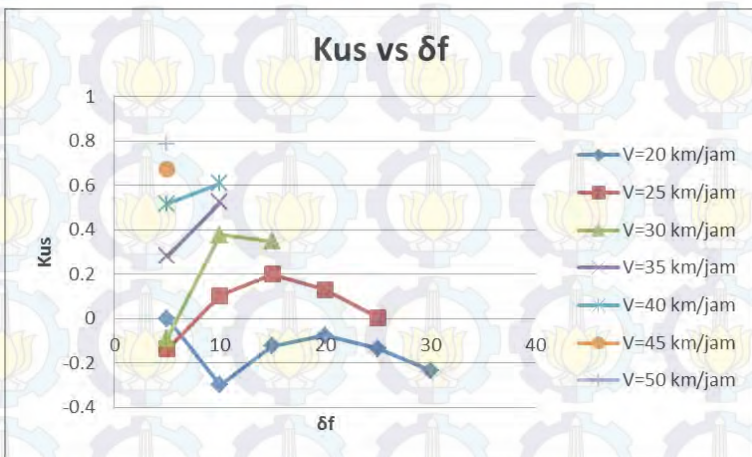


**Gambar 4. 8 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 7 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**

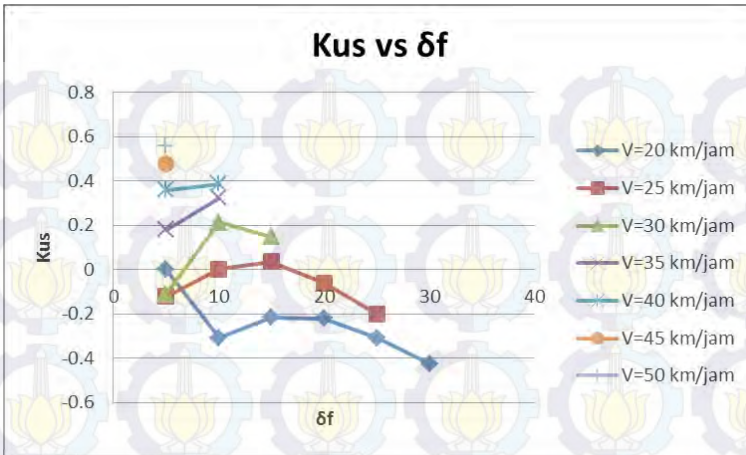




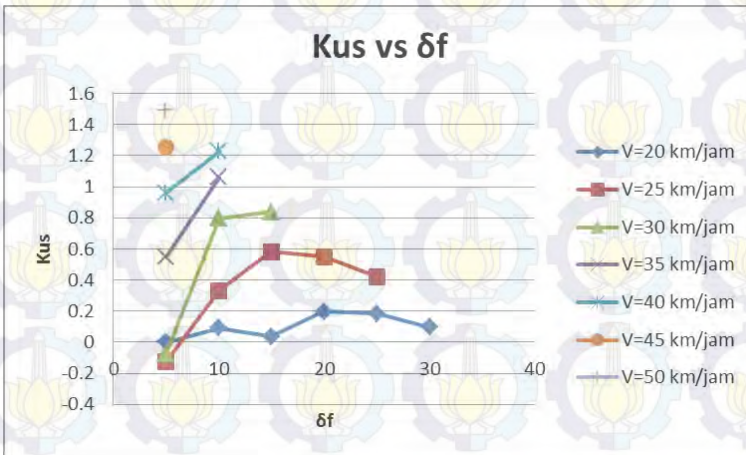
**Gambar 4. 9 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 8 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**



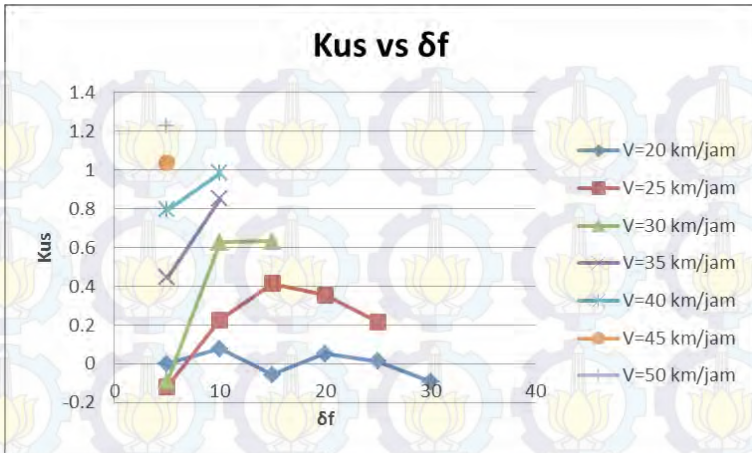
**Gambar 4. 10 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 9 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**



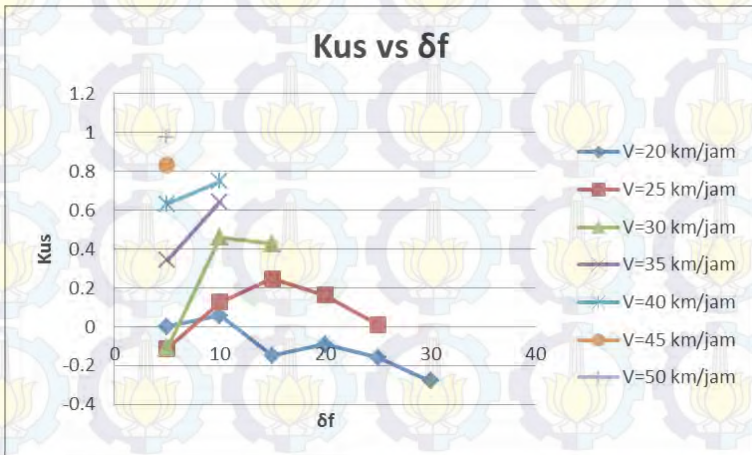
**Gambar 4. 11 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 10 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**



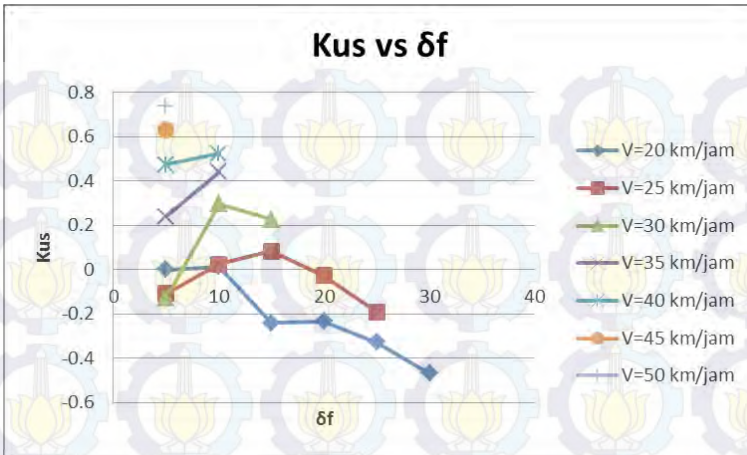
**Gambar 4. 12 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 11 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**



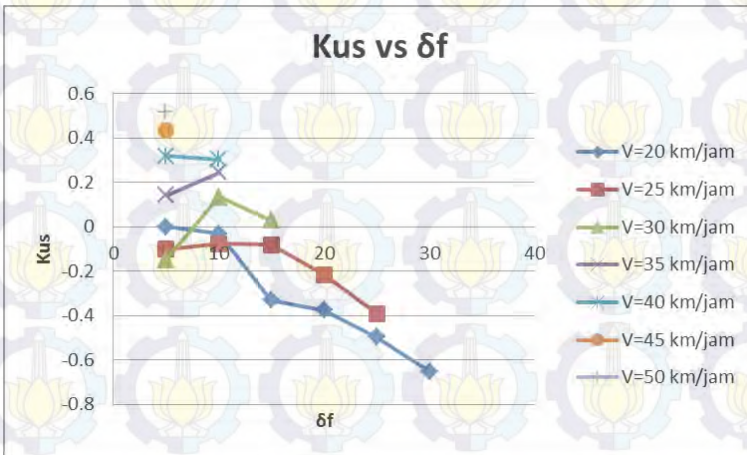
**Gambar 4. 13 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 12 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**



**Gambar 4. 14 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 13 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**



**Gambar 4. 15 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 14 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**



**Gambar 4. 16 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 15 kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher dengan  $\theta=0^\circ$**

Grafik diatas merupakan grafik dari Kus vs  $\delta f$  pada lima belas variasi posisi CG kendaraan bermuatan Multi Purpose



Thresher dengan  $\theta=0^\circ$ . Berdasarkan grafik-grafik diatas, kendaraan produksi multiguna pedesaan mengalami kondisi netral, *understeer* dan *oversteer*. Kondisi *oversteer* merupakan kondisi yang paling berbahaya. Kondisi *oversteer* adalah kondisi dimana mobil berbelok melebihi yang diinginkan oleh pengemudi. Hal tersebut dikarenakan roda belakang kehilangan traksi dan bagian belakang kendaraan terbang keluar. Pada kondisi ini kendaraan menjadi sangat sulit untuk dikendalikan. Kondisi *understeer* adalah kondisi dimana kendaraan sulit berbelok atau kendaraan tidak berbelok setajam yang diinginkan oleh pengemudi, sehingga untuk mengatasinya bisa dengan menambahkan sudut belok yang lebih besar pada kemudi untuk radius tertentu. Oleh karena itu dipilihlah posisi CG 7 karena memiliki kondisi *oversteer* yang paling sedikit dan memiliki nilai *understeer index* positif (*understeer*) yang paling rendah.

#### 4.2.1.1.1 Analisa Slip Posisi CG 7 Kendaraan Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher

Dari perhitungan sudut slip pada masing-masing roda ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ), didapatkan sudut slip rata-rata roda depan  $\alpha_f$  dan  $\alpha_r$  sebagai berikut :

**Tabel 4. 4 Tabel sudut slip rata-rata roda depan  $\alpha_f$  dan  $\alpha_r$**

$\theta$	$\delta_f$	V = 20 km/jam		V = 25 km/jam		V = 30 km/jam		V = 35 km/jam	
		$\alpha_f$	$\alpha_r$	$\alpha_f$	$\alpha_r$	$\alpha_f$	$\alpha_r$	$\alpha_f$	$\alpha_r$
°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
0	5	0.000	0.000	0.277	0.304	1.219	1.231	2.657	2.507
	10	0.771	0.830	2.718	2.619	4.953	4.632	7.414	6.852
	15	2.454	2.434	5.166	4.910	8.210	7.697	11.559	10.772
	20	4.014	3.926	7.375	7.043	11.143	10.555	15.287	14.433
	25	5.441	5.330	9.392	9.056	13.818	13.256	18.681	17.897
	30	6.752	6.659	11.241	10.963	16.265	15.819	21.782	21.189
	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.108	1.047	1.092

	20	4.204	3.926	3.725	3.543	3.369	3.205	3.051	2.907
	25	5.441	5.330	5.232	5.146	5.071	5.006	4.951	4.907
	30	6.752	6.659	6.574	6.496	6.425	6.361	6.306	6.261
5	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.108	0.177	0.252
	10	0.990	0.890	0.792	0.697	0.604	0.514	0.428	0.347
	15	2.888	2.610	2.360	2.136	1.937	1.762	1.610	1.479
	20	4.645	4.254	3.915	3.626	3.387	3.188	3.027	2.894
	25	6.245	5.780	5.400	5.103	4.859	4.658	4.497	4.364
	30	7.732	7.233	6.820	6.483	6.209	6.000	5.827	5.684
10	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
	10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
	15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
	25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
	30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
	10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
	15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
0	5	4.218	3.893	3.597	3.328	3.087	2.874	2.687	2.526
	10	10.086	9.266	8.497	7.778	7.109	6.490	5.921	5.402
	15	15.193	14.119	13.096	12.123	11.200	10.327	9.504	8.731
	20	19.782	18.656	17.606	16.633	15.728	14.881	14.092	13.361
	25	23.953	22.953	22.009	21.120	20.286	19.507	18.784	18.117
	30	27.759	27.043	26.366	25.728	25.129	24.569	24.048	23.566
5	5	2.663	2.528	2.403	2.287	2.180	2.082	1.992	1.910
	10	8.590	7.942	7.343	6.793	6.292	5.840	5.437	5.074
	15	13.661	12.748	11.911	11.150	10.464	9.843	9.287	8.796
	20	18.187	17.206	16.382	15.614	14.901	14.243	13.640	13.092
	25	22.284	21.409	20.637	19.967	19.398	18.830	18.362	17.894
	30	26.013	25.395	24.827	24.308	23.838	23.407	23.015	22.662
	5	1.010	1.075	1.147	1.225	1.308	1.396	1.488	1.584

5	20	18.107	17.206	12.852	21.657	17.804	26.396
	25	22.184	21.409	27.077	26.723	33.603	32.688
	30	26.013	25.395	32.214	31.537	38.789	38.089
10	5	4.018	3.893	3.807	3.839	4.680	4.900
	10	10.086	9.868	12.827	19.869	18.086	14.898
	15	12.093	14.289	19.095	17.738	29.220	28.522
	20	18.782	18.648	24.606	29.208	29.864	28.607
	25	28.993	29.953	29.092	28.808	35.629	30.380
	30	27.739	23.003	30.005	29.338	40.988	40.832
	5	2.663	2.528	4.373	4.049	6.177	5.654

Sudut slip pada setiap roda dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu : konstruksi ban, gaya lateral ( $F_y$ ), gaya normal ( $F_z$ ), tekanan ban, keausan ban dan gaya longitudinal ban ( $F_x$ ). Setelah mendapatkan nilai sudut slip pada masing-masing roda, didapatkan radius nyata kendaraan dengan persamaan berikut :

$$R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29$$

**Tabel 4. 5 Tabel Radius Nyata Kendaraan dan Koefisien Understeer**

$\theta$	$\delta_f$	V = 20 km/jam		V = 25 km/jam		V = 30 km/jam		V = 35 km/jam	
		Rnyata	Kus	Rnyata	Kus	Rnyata	Kus	Rnyata	Kus
°	°	m		m		m		m	
0	5	30.364	0.000	30.199	-0.168	30.291	-0.051	31.304	0.488
	10	15.093	-0.282	15.334	0.309	15.686	0.713	16.087	0.939
	15	10.135	0.064	10.297	0.538	10.480	0.760	10.681	0.872
	20	7.625	0.214	7.719	0.521	7.821	0.650	7.930	0.703
	25	6.100	0.214	6.155	0.420	6.212	0.493	6.270	0.511
	30	5.076	0.150	5.108	0.288	5.137	0.324	5.163	0.318



$\theta$	$\delta f$	V = 20 km/jam		V = 25 km/jam		V = 30 km/jam		V = 35 km/jam	
		Rnyata	Kus	Rnyata	Kus	Rnyata	Kus	Rnyata	Kus
°	°	m		m		m		m	
5	5	30.364	0.000	30.364	0.000	29.997	-0.259	30.091	-0.141
	10	15.182	0.000	15.069	-0.229	15.417	0.332	15.804	0.645
	15	10.040	-0.388	10.201	0.244	10.378	0.544	10.570	0.699
	20	7.587	-0.022	7.679	0.357	7.776	0.522	7.877	0.594
	25	6.088	0.118	6.140	0.341	6.192	0.422	6.244	0.443
	30	5.077	0.156	5.105	0.270	5.130	0.294	5.151	0.281
10	5	30.364	0.000	30.364	0.000	30.364	0.000	30.321	-0.022
	10	15.182	0.000	15.068	-0.232	15.147	-0.050	15.521	0.352
	15	10.121	0.000	10.105	-0.049	10.276	0.328	10.458	0.525
	20	7.552	-0.244	7.640	0.199	7.731	0.396	7.825	0.486
	25	6.078	0.042	6.126	0.270	6.173	0.355	6.219	0.379
	30	5.080	0.186	5.104	0.264	5.125	0.271	5.141	0.250

$\theta$	$\delta f$	V = 40 km/jam		V = 45 km/jam		V = 50 km/jam	
		Rnyata	Kus	Rnyata	Kus	Rnyata	Kus
°	°	m		m		m	
0	5	32.476	0.839	33.831	1.088	35.397	1.280
	10	16.538	1.078	17.044	1.169	17.611	1.235
	15	10.901	0.930	11.141	0.960	11.400	0.975
	20	8.044	0.719	8.163	0.718	8.286	0.707
	25	6.326	0.503	6.380	0.483	6.432	0.457
	30	5.184	0.295	5.201	0.264	5.212	0.231
5	5	31.207	0.335	32.473	0.662	33.916	0.903
	10	16.233	0.835	16.709	0.959	17.237	1.045
	15	10.777	0.782	11.000	0.828	11.239	0.853
	20	7.982	0.622	8.091	0.628	8.201	0.621
	25	6.293	0.438	6.340	0.419	6.383	0.394
	30	5.167	0.254	5.177	0.220	5.182	0.185



$\theta$	$\delta_f$	V = 40 km/jam		V = 45 km/jam		V = 50 km/jam	
		Rnyata	Kus	Rnyata	Kus	Rnyata	Kus
$^\circ$	$^\circ$	m		m		m	
10	5	29.974	-0.155	31.166	0.252	32.497	0.542
	10	15.928	0.593	16.374	0.748	16.861	0.854
	15	10.652	0.633	10.858	0.694	11.076	0.728
	20	7.921	0.525	8.018	0.537	8.116	0.534
	25	6.262	0.375	6.300	0.357	6.335	0.333
	30	5.152	0.217	5.156	0.180	5.154	0.143

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan, maka radius nyata yang dibutuhkan kendaraan untuk berbelok juga semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh selisih sudut slip roda belakang dengan roda depan yang semakin bernilai negatif.

Kendaraan cenderung mengalami kondisi understeer karena sudut belok roda depan yang lebih besar dari sudut belok roda belakang. Sebaliknya, kendaraan cenderung mengalami kondisi oversteer karena sudut belok roda depan yang lebih kecil dari sudut belok roda belakang. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut :

$$K_{us} = (\alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ) \frac{R \cdot g}{V^2}$$

Sehingga semakin kecil selisih sudut belok roda depan dengan sudut belok roda belakang maka akan menyebabkan perilaku oversteer pada kendaraan.

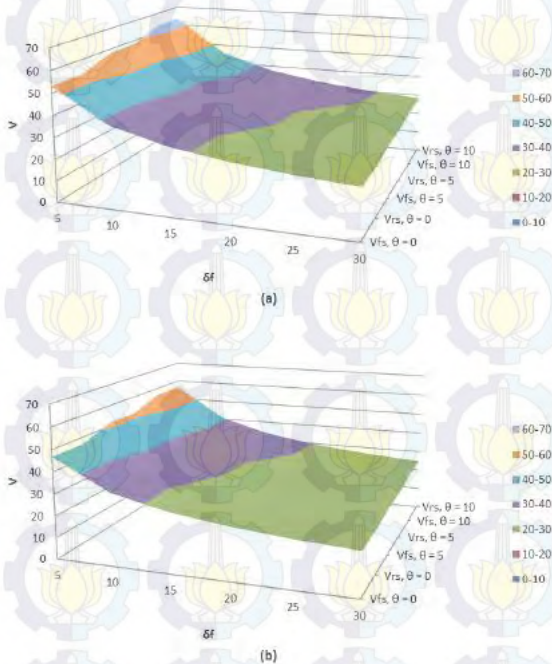
#### 4.2.1.1.2 Analisa Skid Posisi CG 7 Kendaraan Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher

Kendaraan akan mengalami skid apabila gaya sentrifugal yang bekerja pada ban lebih besar dibandingkan perkalian antara  $\mu_m$  dengan gaya normal dari roda. Berdasarkan perhitungan didapatkan batas kecepatan maksimal sebelum kendaraan mengalami skid dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{fs} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot l_f (\sin \theta + \mu_m \cos \theta)}{l_f (\cos \theta - \mu_m \sin \theta) \cos \beta - \mu \cdot h \sin \beta}}$$

$$V_{rs} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot l_f (\sin \theta + \mu_m \cos \theta)}{l_f (\cos \theta - \mu_m \sin \theta) \cos \beta + \mu \cdot h \sin \beta}}$$

Dari perhitungan terhadap seluruh variasi, didapatkan kecepatan maksimum agar kendaraan tidak mengalami skid yang digambarkan pada grafik berikut :



**Gambar 4. 17 Grafik batas kecepatan Skid ( $V_s$ ) dengan sudut belok ( $\delta f$ ) kendaraan bermuatan Multi Purpose Thresher posisi CG 7 (a) pada aspal kering (b) pada aspal basah**

Secara keseluruhan kendaraan akan cenderung mengalami kondisi *understeer* karena  $V_{fs} < V_{rs}$ . Dari kedua grafik diatas diketahui trendline batas kecepatan skid mengalami penurunan setiap penambahan sudut belok ( $\delta f$ ) kendaraan. Kemudian pada kondisi kendaraan melaju pada jalan aspal kering kendaraan memiliki batas kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan saat melaju pada jalan aspal basah. Hal tersebut sudah sesuai dengan teori dimana semakin besar nilai  $\mu_m$  yang dipengaruhi oleh jenis jalan, maka batas kecepatan agar kendaraan tidak mengalami skid juga akan besar. Batas kecepatan agar kendaraan tidak mengalami skid juga akan semakin bertambah seiring dengan pertambahan sudut kemiringan melintang jalan.

#### 4.2.1.1.3 Analisa Guling Posisi CG 7 Kendaraan Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher

Kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Gaya normal roda depan dapat dicari dengan persamaan berikut :

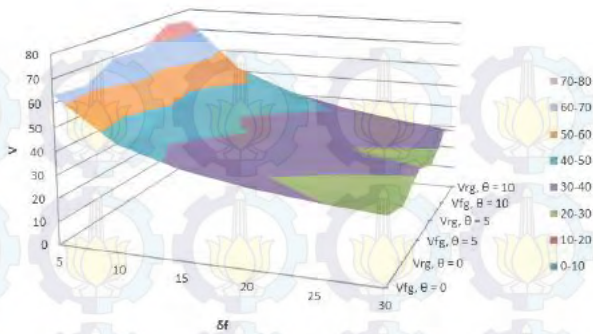
$$F_{Z_2} = \frac{l_r}{L} ( W \cos \theta + F_{cg} \cos \beta \sin \theta ) - \frac{l_r}{L} \left( \frac{F_{cg} \cdot h \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta - W \cdot h \cdot \sin \theta}{0.5 \cdot t_f} \right) + \frac{F_{cg} \cdot h \sin \beta}{L}$$

Dan gaya normal roda belakang sebagai berikut :

$$F_{Z_1} = \frac{l_f}{L} ( W \cos \theta + F_{cg} \cos \beta \sin \theta ) - \frac{l_f}{L} \left( \frac{F_{cg} \cdot h \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta - W \cdot h \cdot \sin \theta}{0.5 \cdot t_f} \right) - \frac{F_{cg} \cdot h \sin \beta}{L}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan kecepatan maksimum agar kendaraan tidak mengalami guling pada grafik berikut :





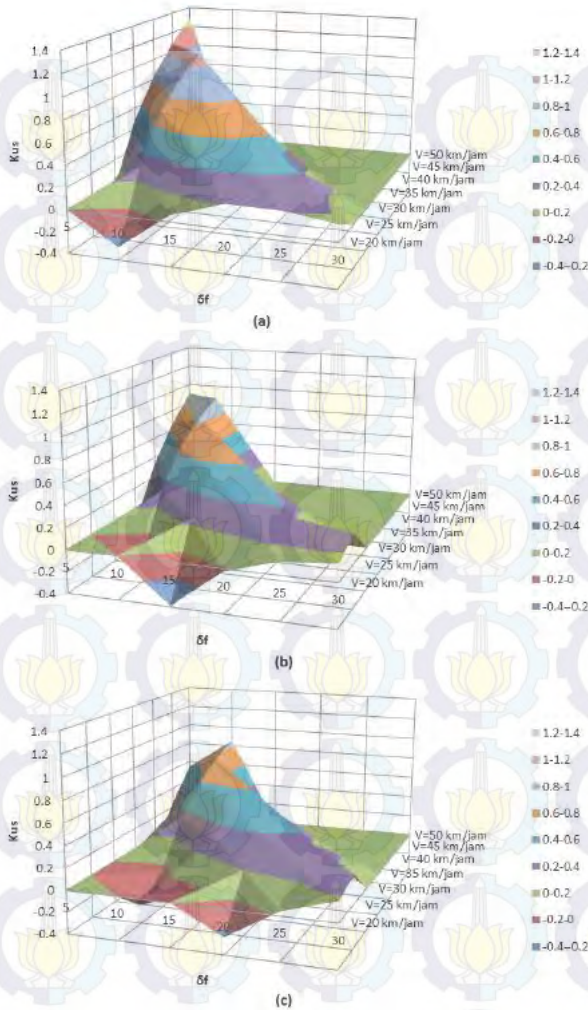
**Gambar 4. 18 Grafik batas kecepatan Guling ( $V_g$ ) dengan sudut belok ( $\delta_f$ ) Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher Posisi CG 7**

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa  $V_{fg}$  nilainya selalu lebih besar daripada  $V_{rg}$ . Sehingga satu roda belakang akan terangkat sebelum satu roda depan terangkat dan kendaraan cenderung *oversteer*. Kemudian diketahui juga bahwa batas kecepatan agar kendaraan tidak mengalami guling baik roda depan maupun belakang akan semakin bertambah seiring dengan pertambahan sudut kemiringan melintang jalan.

#### **4.2.1.1.4 Analisa Kus Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher**

Berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien *understeer*, didapatkan grafik Koefisien *Understeer* (Kus) dengan sudut belok ( $\delta_f$ ) Kendaraan Bermuatan *Multi Purpose Thresher* Posisi CG 7 yang dapat dilihat pada Gambar 4.19, menunjukkan kurva antara nilai koefisien understeer terhadap sudut belok kendaraan. Trendline dari nilai koefisien understeer ini berbeda beda untuk setiap nilai kecepatan kendaraan.





**Gambar 4. 19 Grafik Koefisien Understeer Indeks (Kus) dengan sudut belok ( $\delta f$ ) Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher Posisi CG 7 pada kemiringan jalan melintang (a)  $\theta=0^\circ$  (b)  $\theta=5^\circ$  (c)  $\theta=10^\circ$**

Saat kendaraan melintasi jalan dengan sudut kemiringan melintang jalan sebesar  $0^\circ$  atau kondisi jalan datar pada kecepatan 20 km/jam masih belum terjadi skid maupun guling, kendaraan cenderung mengalami understeer dimulai pada sudut  $15^\circ$  yang sebelumnya diawali dengan kondisi netral dan oversteer.

Pada kecepatan 25 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $10^\circ$  yang sebelumnya diawali dengan kondisi oversteer. Saat berbelok dengan sudut  $30^\circ$  kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $30^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal kering dan mulai mengalami skid pada sudut belok  $20^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal basah.

Pada kecepatan 30 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $10^\circ$  yang sebelumnya diawali dengan kondisi oversteer. Saat berbelok dengan sudut  $25^\circ$  kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Sehingga perhitungan tidak dapat dilanjutkan karena kendaraan mengalami skid dan guling (un-safe). Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $20^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal kering dan mulai mengalami skid pada sudut belok  $15^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal basah.

Pada kecepatan 35 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $5^\circ$ . Saat berbelok dengan sudut  $20^\circ$  kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 dan roda 2 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Sehingga perhitungan tidak dapat dilanjutkan karena kendaraan mengalami skid dan guling (un-safe). Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $15^\circ$

saat kendaraan melintasi jalan aspal kering dan mulai mengalami skid pada sudut belok  $10^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal basah.

Pada kecepatan 40 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $5^\circ$ . Saat berbelok dengan sudut  $15^\circ$  kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 dan roda 2 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Sehingga perhitungan tidak dapat dilanjutkan karena kendaraan mengalami skid dan guling (un-safe). Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $10^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal kering maupun aspal basah.

Pada kecepatan 45 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $5^\circ$ . Saat berbelok dengan sudut  $10^\circ$  kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Sehingga perhitungan tidak dapat dilanjutkan karena kendaraan mengalami skid dan guling (un-safe). Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $10^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal kering maupun aspal basah.

Pada kecepatan 50 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $5^\circ$ . Saat berbelok dengan sudut  $10^\circ$  kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Sehingga perhitungan tidak dapat dilanjutkan karena kendaraan mengalami skid dan guling (un-safe). Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $10^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal kering dan mulai mengalami skid pada sudut belok  $5^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal basah.



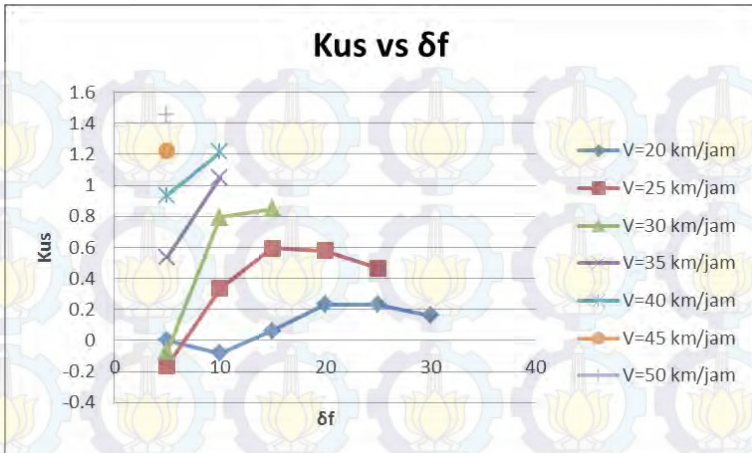
Kemudian saat kendaraan melintasi jalan dengan sudut kemiringan melintang jalan sebesar  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ , kestabilan kendaraan menjadi lebih baik. Hal ini disebabkan karena pada kondisi ini gaya lateral yang disebabkan oleh kendaraan lebih kecil daripada saat melaju pada jalan datar. Gaya lateral yang terjadi menjadi lebih kecil disebabkan oleh gaya berat yang bekerja berlawanan arah dengan gaya lateral. Sehingga terjadinya skid dan guling pada masing-masing variasi kecepatan juga akan berkurang seiring dengan penambahan sudut kemiringan melintang jalan.

#### **4.2.2 Analisa Kestabilan Arah Kendaraan Kendaraan Bermuatan *Freezer***

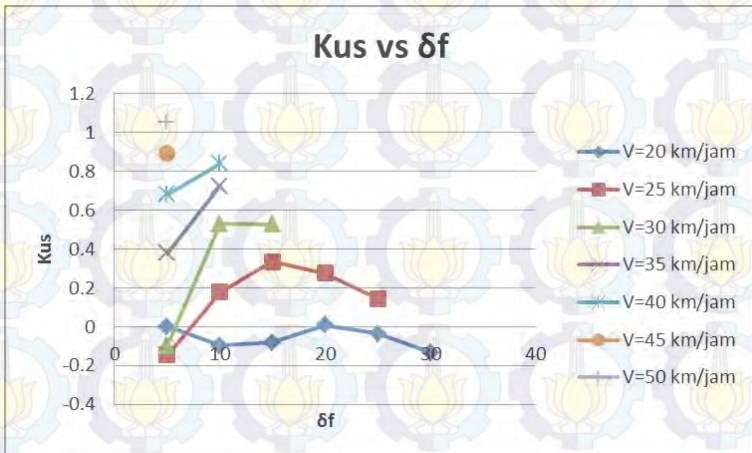
##### **4.2.2.1 Variasi Posisi CG Kendaraan Kendaraan Bermuatan *Freezer***

Berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien *understeer*, didapatkan grafik Koefisien Understeer (Kus) dengan sudut belok ( $\delta f$ ) Kendaraan Bermuatan *Freezer* pada berbagai posisi titik berat yang menunjukkan kurva antara nilai koefisien understeer terhadap sudut belok kendaraan. Trendline dari nilai koefisien understeer ini berbeda beda untuk setiap nilai kecepatan kendaraan. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:

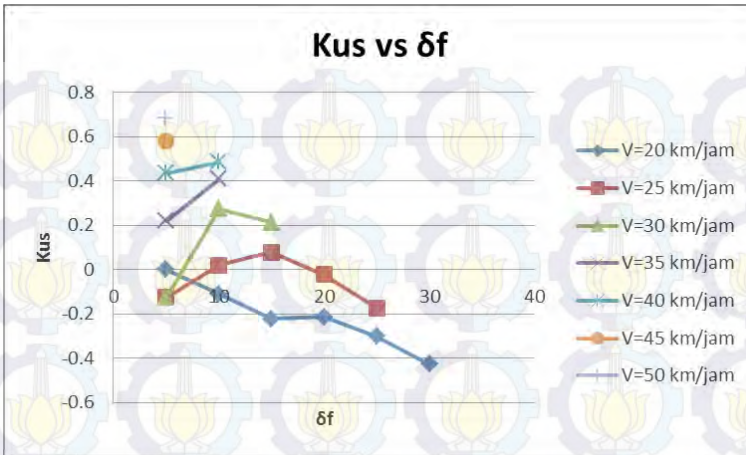




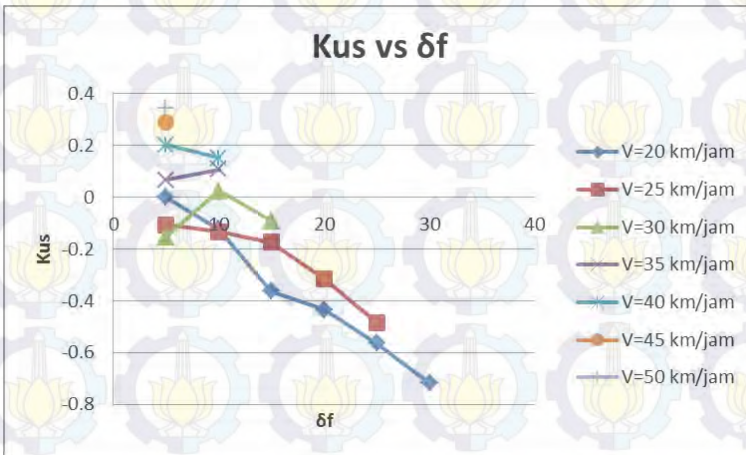
**Gambar 4. 20 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 1 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**



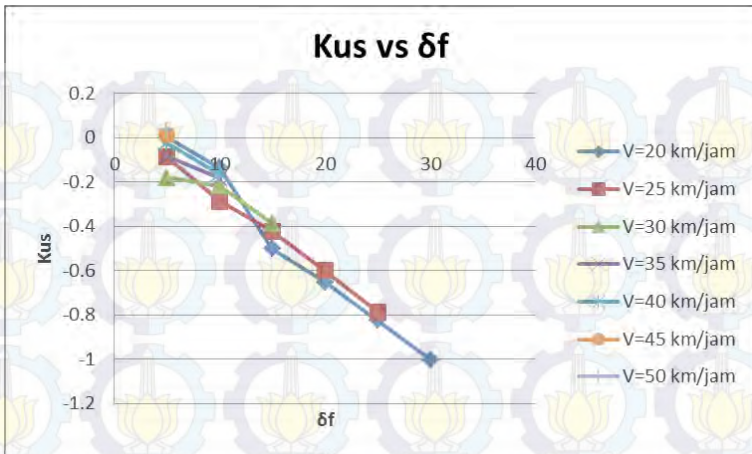
**Gambar 4. 21 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 2 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**



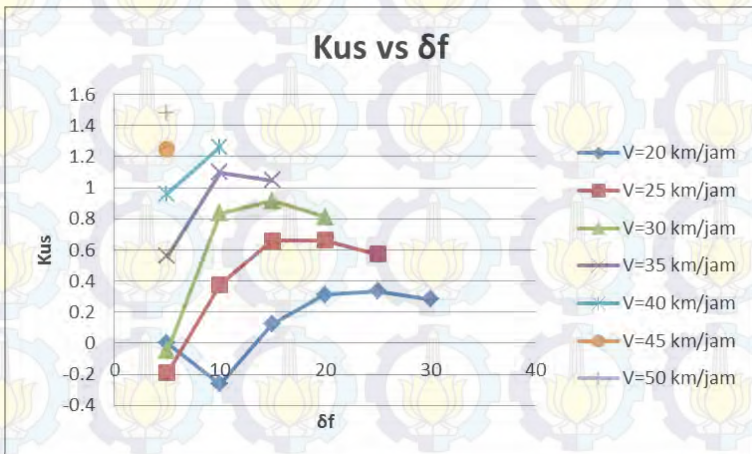
**Gambar 4. 22 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 3 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**



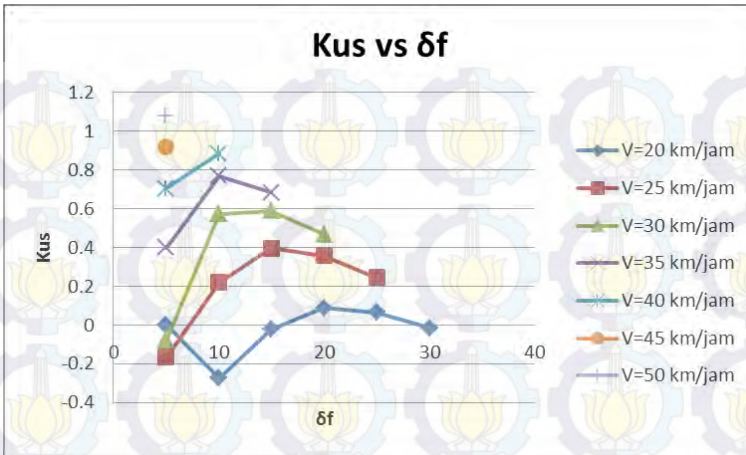
**Gambar 4. 23 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 4 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**



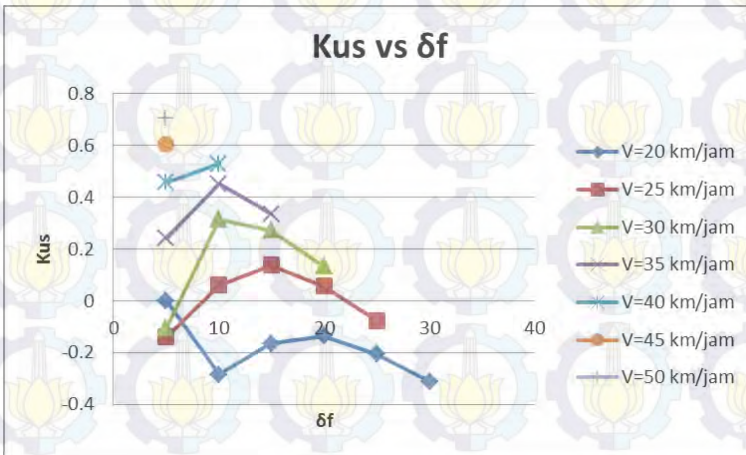
**Gambar 4. 24 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 5 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**



**Gambar 4. 25 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 6 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**

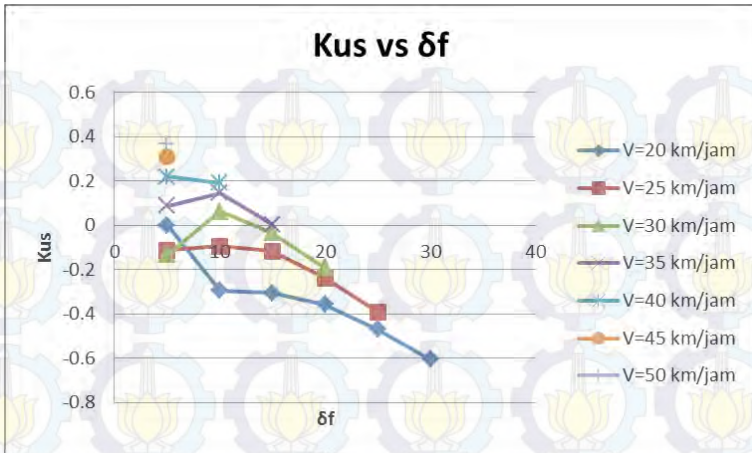


**Gambar 4. 26 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 7 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**

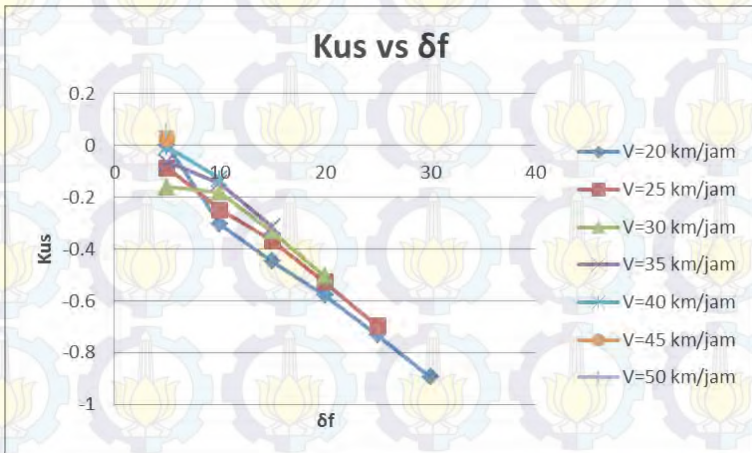


**Gambar 4. 27 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 8 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**

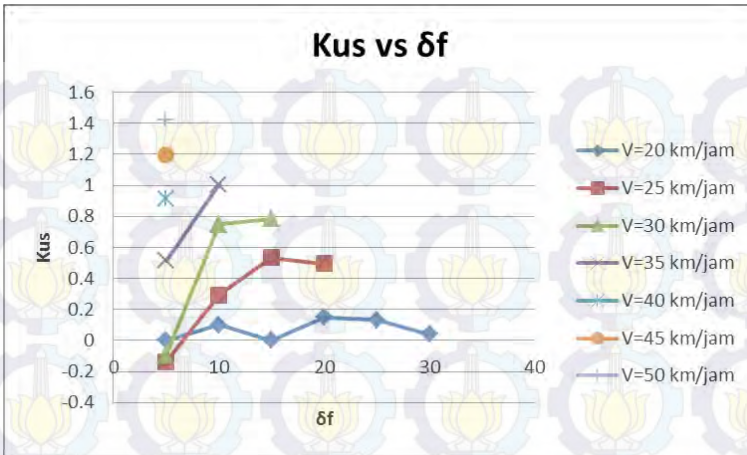




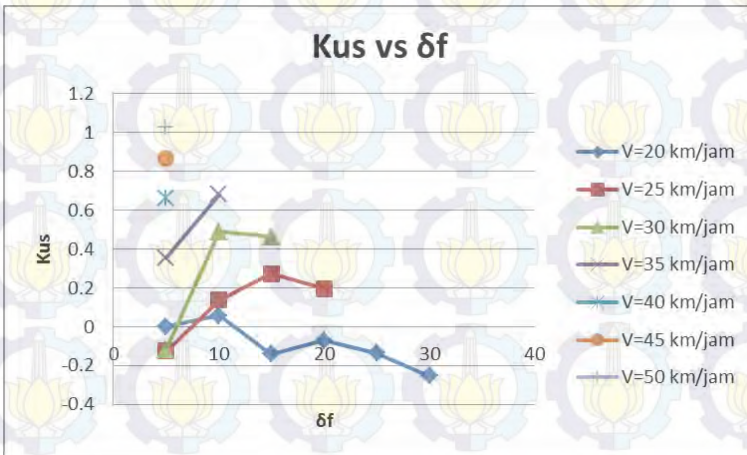
**Gambar 4. 28 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 9 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**



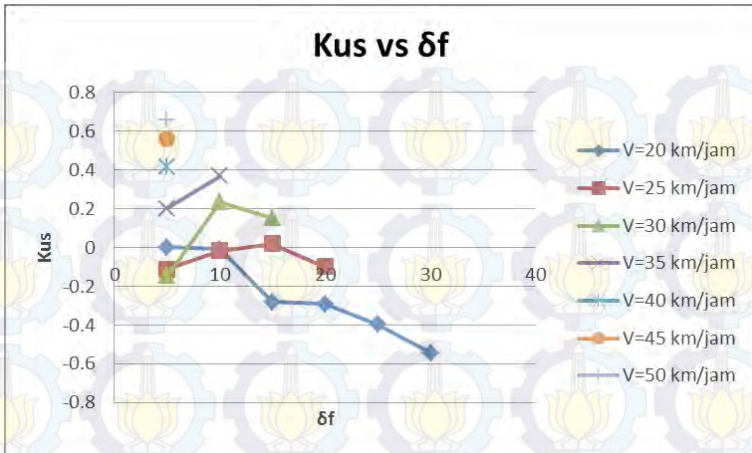
**Gambar 4. 29 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 10 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**



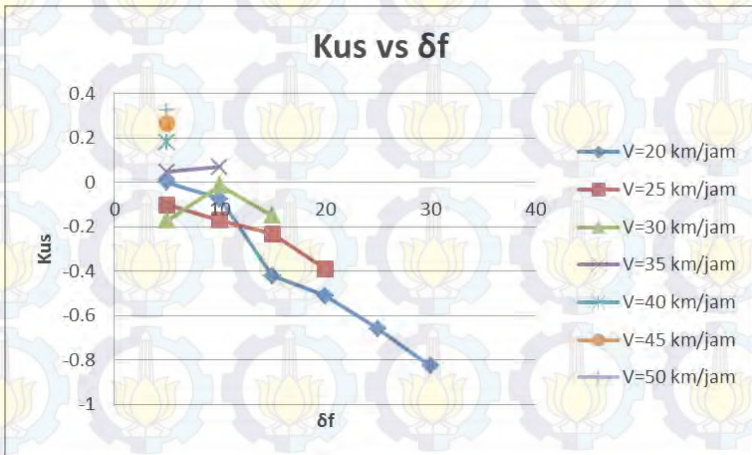
**Gambar 4. 30 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 11 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**



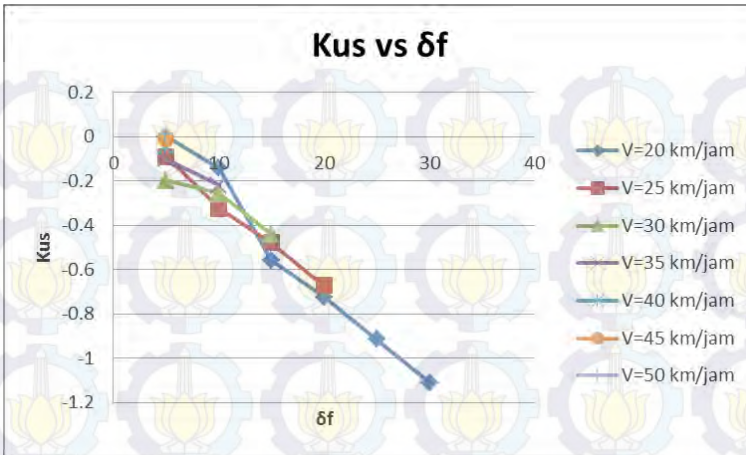
**Gambar 4. 31 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 12 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**



**Gambar 4. 32 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 13 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**



**Gambar 4. 33 Grafik Kus vs  $\delta f$  posisi CG 14 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**



**Gambar 4. 34 Grafik  $Kus$  vs  $\delta_f$  posisi CG 15 kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$**

Grafik diatas merupakan grafik dari  $Kus$  vs  $\delta_f$  pada lima belas variasi posisi CG kendaraan bermuatan Freezer dengan  $\theta=0^\circ$ . Berdasarkan grafik-grafik diatas, kendaraan produksi multiguna pedesaan mengalami kondisi netral, *understeer* dan *oversteer*. Kondisi *oversteer* merupakan kondisi yang paling berbahaya. Kondisi *oversteer* adalah kondisi dimana mobil berbelok melebihi yang diinginkan oleh pengemudi. Hal tersebut dikarenakan roda belakang kehilangan traksi dan bagian belakang kendaraan terbuang keluar. Pada kondisi ini kendaraan menjadi sangat sulit untuk dikendalikan. Kondisi *understeer* adalah kondisi dimana kendaraan sulit berbelok atau kendaraan tidak berbelok setajam yang diinginkan oleh pengemudi, sehingga untuk mengatasinya bisa dengan menambahkan sudut belok yang lebih besar pada kemudi untuk radius tertentu. Oleh karena itu dipilihlah posisi CG 6 karena memiliki kondisi *oversteer* yang paling sedikit dan memiliki nilai *understeer index* positif (*understeer*) yang paling rendah.



#### 4.2.2.1.1 Analisa Slip Posisi CG 7 Kendaraan Bermuatan Freezer

Dari perhitungan sudut slip pada masing-masing roda ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ), didapatkan sudut slip rata-rata roda depan  $\alpha_f$  dan  $\alpha_r$  sebagai berikut :

**Tabel 4. 6 Tabel sudut slip rata-rata roda depan  $\alpha_f$  dan  $\alpha_r$**

$\theta$	$\delta f$	V = 20 km/jam		V = 25 km/jam		V = 30 km/jam		V = 35 km/jam	
		$\alpha_f$	$\alpha_r$	$\alpha_f$	$\alpha_r$	$\alpha_f$	$\alpha_r$	$\alpha_f$	$\alpha_r$
°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
0	5	0.000	0.000	0.270	0.301	1.223	1.234	2.692	2.521
	10	0.775	0.829	2.755	2.634	5.041	4.665	7.556	6.905
	15	2.485	2.448	5.259	4.946	8.371	7.758	11.795	10.861
	20	4.082	3.952	7.519	7.098	11.373	10.641	15.610	14.555
	25	5.542	5.369	9.583	9.128	14.110	13.365	19.084	18.048
	30	6.885	6.709	11.477	11.051	16.617	15.950	22.261	21.368
5	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.103	1.046	1.094
	10	0.000	0.000	1.133	1.210	3.486	3.303	6.029	5.569
	15	0.884	1.011	3.739	3.586	6.872	6.422	10.277	9.515
	20	2.579	2.568	6.055	5.758	9.891	9.295	14.070	13.164
	25	4.114	4.010	8.159	7.787	12.632	11.989	17.509	16.597
	30	5.522	5.361	10.084	9.695	15.137	14.532	20.647	19.845
10	5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
	10	0.000	0.000	0.000	0.070	1.844	1.859	4.423	4.162
	15	0.000	0.000	2.136	2.147	5.299	5.017	8.678	8.092
	20	0.988	1.092	4.522	4.348	8.335	7.873	12.438	11.685
	25	2.619	2.574	6.669	6.374	11.074	10.528	15.833	15.041
	30	4.102	3.940	8.627	8.264	13.573	13.021	18.923	18.204

$\theta$	$\delta f$	V = 40 km/jam		V = 45 km/jam		V = 50 km/jam	
		$\alpha f$	$\alpha r$	$\alpha f$	$\alpha r$	$\alpha f$	$\alpha r$
0	5	4.289	3.920	6.005	5.425	7.835	7.030
	10	10.288	9.341	13.224	11.963	16.353	14.762
	15	15.511	14.238	19.502	17.875	23.755	21.758
	20	20.206	18.816	25.140	23.406	30.395	28.312
	25	24.477	23.150	30.262	28.650	36.419	34.531
	30	28.375	27.275	34.931	33.646	41.904	40.462
5	5	2.698	2.543	4.446	4.077	6.290	5.696
	10	8.757	8.005	11.666	10.608	14.749	13.370
	15	13.943	12.854	17.858	16.429	22.011	20.233
	20	18.573	17.351	23.384	21.842	28.488	26.625
	25	22.766	21.591	28.383	26.953	34.342	32.669
	30	26.585	25.611	32.928	31.807	39.654	38.418
10	5	1.008	1.077	2.804	2.654	4.666	4.291
	10	7.147	6.597	10.020	9.172	13.045	11.887
	15	12.280	11.381	16.101	14.880	20.134	18.583
	20	16.827	15.779	21.491	20.147	26.418	24.782
	25	20.929	19.903	26.349	25.100	32.077	30.621
	30	24.657	23.799	30.756	29.788	37.199	36.158

Sudut slip pada setiap roda dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu : konstruksi ban, gaya lateral ( $F_y$ ), gaya normal ( $F_z$ ), tekanan ban, keausan ban dan gaya longitudinal ban ( $F_x$ ). Setelah mendapatkan nilai sudut slip pada masing-masing roda, didapatkan radius nyata kendaraan dengan persamaan berikut :

$$R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29$$

**Tabel 4. 7 Tabel Radius Nyata Kendaraan dan Koefisien Understeer**

$\theta$	$\delta f$	V = 20 km/jam		V = 25 km/jam		V = 30 km/jam		V = 35 km/jam	
		Rnyata	Kus	Rnyata	Kus	Rnyata	Kus	Rnyata	Kus
°	°	m		m		m		m	
0	5	30.364	0.000	30.176	-0.191	30.293	-0.050	31.439	0.558
	10	15.100	-0.261	15.367	0.378	15.774	0.836	16.240	1.098
	15	10.147	0.122	10.337	0.659	10.553	0.915	10.793	1.046
	20	7.640	0.314	7.754	0.664	7.879	0.814	8.014	0.878
	25	6.115	0.336	6.185	0.573	6.259	0.658	6.335	0.681
	30	5.091	0.285	5.134	0.445	5.176	0.488	5.216	0.484
5	5	30.364	0.000	30.364	0.000	29.953	-0.290	30.075	-0.150
	10	15.182	0.000	15.067	-0.234	15.466	0.401	15.914	0.760
	15	10.037	-0.403	10.225	0.318	10.434	0.663	10.663	0.844
	20	7.595	0.026	7.705	0.466	7.824	0.659	7.951	0.747
	25	6.098	0.202	6.165	0.467	6.233	0.566	6.303	0.597
	30	5.088	0.261	5.127	0.406	5.165	0.441	5.199	0.432
10	5	30.364	0.000	30.364	0.000	30.364	0.000	30.355	-0.004
	10	15.182	0.000	15.076	-0.216	15.158	-0.033	15.590	0.423
	15	10.121	0.000	10.114	-0.023	10.315	0.411	10.533	0.640
	20	7.552	-0.249	7.658	0.272	7.770	0.506	7.888	0.617
	25	6.084	0.086	6.145	0.369	6.208	0.479	6.271	0.515
	30	5.088	0.261	5.123	0.378	5.155	0.402	5.185	0.387



$\theta$	$\delta f$	V = 40 km/jam		V = 45 km/jam		V = 50 km/jam	
		Rnyata	Kus	Rnyata	Kus	Rnyata	Kus
$^{\circ}$	$^{\circ}$	m		m		m	
0	5	32.780	0.960	34.348	1.251	36.185	1.480
	10	16.770	1.262	17.372	1.375	18.054	1.461
	15	11.060	1.119	11.353	1.160	11.675	1.185
	20	8.158	0.902	8.312	0.905	8.473	0.898
	25	6.413	0.676	6.491	0.657	6.569	0.631
	30	5.253	0.459	5.287	0.426	5.316	0.390
5	5	31.339	0.387	32.788	0.761	34.459	1.041
	10	16.416	0.981	16.979	1.129	17.611	1.235
	15	10.914	0.945	11.187	1.003	11.483	1.039
	20	8.085	0.785	8.225	0.796	8.371	0.793
	25	6.372	0.595	6.441	0.578	6.508	0.554
	30	5.231	0.405	5.257	0.370	5.278	0.332
10	5	29.950	-0.164	31.301	0.294	32.826	0.626
	10	16.064	0.701	16.589	0.883	17.169	1.011
	15	10.767	0.769	11.018	0.845	11.288	0.890
	20	8.011	0.667	8.137	0.686	8.267	0.688
	25	6.333	0.517	6.392	0.501	6.448	0.477
	30	5.210	0.356	5.229	0.318	5.243	0.278

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan, maka radius nyata yang dibutuhkan kendaraan untuk berbelok juga semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh selisih sudut slip roda belakang dengan roda depan yang semakin bernilai negatif.

Kendaraan cenderung mengalami kondisi understeer karena sudut belok roda depan yang lebih besar dari sudut belok roda belakang. Sebaliknya, kendaraan cenderung mengalami kondisi oversteer karena sudut belok roda depan yang lebih kecil dari sudut belok roda belakang. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut :



$$K_{us} = (\alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ) \frac{R \cdot g}{V^2}$$

Sehingga semakin kecil selisih sudut belok roda depan dengan sudut belok roda belakang maka akan menyebabkan perilaku oversteer pada kendaraan.

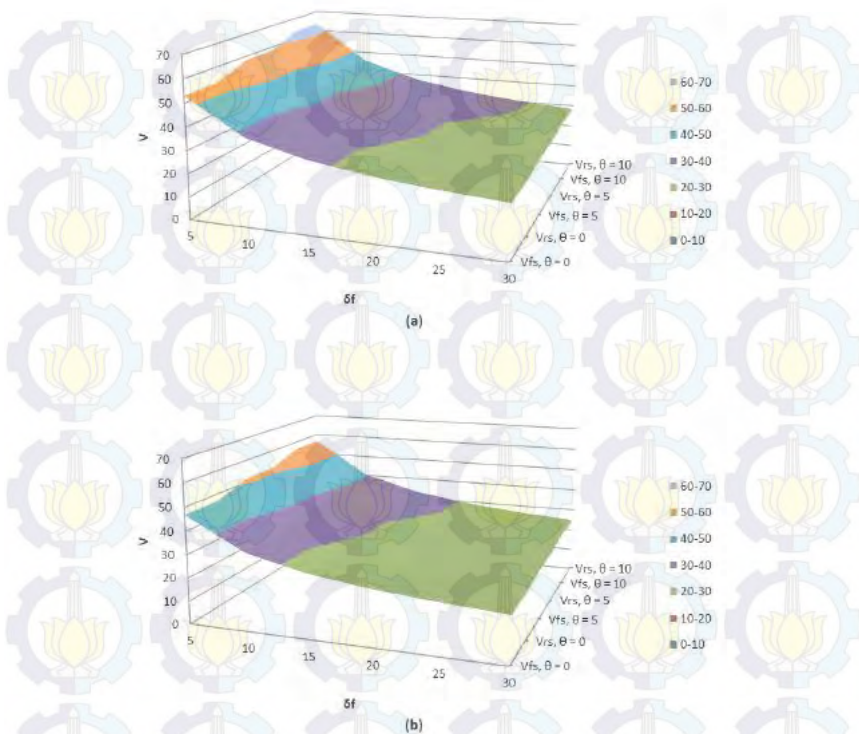
#### 4.2.2.1.2 Analisa Skid Posisi CG 7 Kendaraan Bermuatan Freezer

Kendaraan akan mengalami skid apabila gaya sentrifugal yang bekerja pada ban lebih besar dibandingkan perkalian antara  $\mu_m$  dengan gaya normal dari roda. Berdasarkan perhitungan didapatkan batas kecepatan maksimal sebelum kendaraan mengalami skid dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{fs} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot l_r (\sin \theta + \mu_m \cos \theta)}{l_r (\cos \theta - \mu_m \sin \theta) \cos \beta - \mu \cdot h \sin \beta}}$$

$$V_{rs} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot l_f (\sin \theta + \mu_m \cos \theta)}{l_f (\cos \theta - \mu_m \sin \theta) \cos \beta + \mu \cdot h \sin \beta}}$$

Dari perhitungan terhadap seluruh variasi, didapatkan kecepatan maksimum agar kendaraan tidak mengalami skid pada grafik berikut :



**Gambar 4. 35 Grafik batas kecepatan Skid ( $V_s$ ) dengan sudut belok ( $\delta f$ ) kendaraan bermuatan Freezer posisi CG 6 (a) pada aspal kering (b) pada aspal basah**

Secara keseluruhan kendaraan akan cenderung mengalami kondisi *understeer* karena  $V_{fs} < V_{rs}$ . Dari kedua grafik diatas diketahui trendline batas kecepatan skid mengalami penurunan setiap penambahan sudut belok ( $\delta f$ ) kendaraan. Kemudian pada kondisi kendaraan melaju pada jalan aspal kering kendaraan memiliki batas kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan saat melaju pada jalan aspal basah. Hal tersebut

sudah sesuai dengan teori dimana semakin besar nilai  $\mu_m$  yang dipengaruhi oleh jenis jalan, maka batas kecepatan agar kendaraan tidak mengalami skid juga akan besar. Batas kecepatan agar kendaraan tidak mengalami skid juga akan semakin bertambah seiring dengan penambahan sudut kemiringan melintang jalan.

#### 4.2.2.1.3 Analisa Guling Posisi CG 7 Kendaraan Kendaraan Bermuatan Freezer

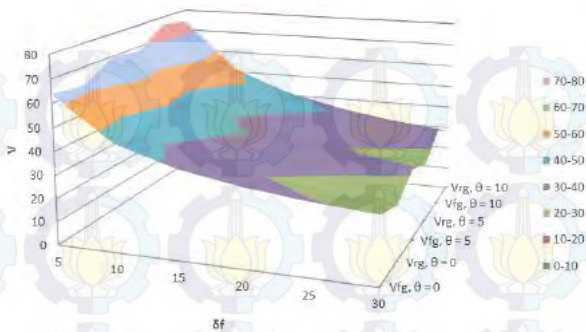
Kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Gaya normal roda depan dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$F_{Z_2} = \frac{l_r}{L} ( W \cos \theta + F_{cg} \cos \beta \sin \theta ) - \frac{l_r}{L} \left( \frac{F_{cg} \cdot h \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta - W \cdot h \cdot \sin \theta}{0.5 \cdot t_f} \right) + \frac{F_{cg} \cdot h \sin \beta}{L}$$

Dan gaya normal roda belakang sebagai berikut :

$$F_{Z_1} = \frac{l_f}{L} ( W \cos \theta + F_{cg} \cos \beta \sin \theta ) - \frac{l_f}{L} \left( \frac{F_{cg} \cdot h \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta - W \cdot h \cdot \sin \theta}{0.5 \cdot t_f} \right) - \frac{F_{cg} \cdot h \sin \beta}{L}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan kecepatan maksimum agar kendaraan tidak mengalami guling pada grafik berikut :



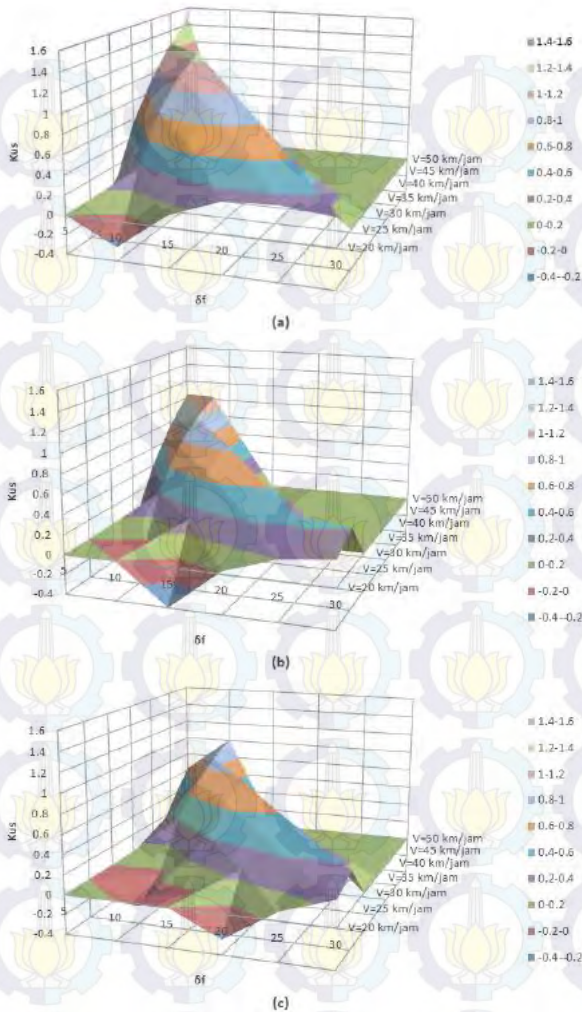
**Gambar 4. 36 Grafik batas kecepatan Guling ( $V_g$ ) dengan sudut belok ( $\delta f$ ) pada kemiringan jalan melintang ( $\theta=0^\circ$ ) Kendaraan Bermuatan Freezer Posisi CG 6**

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa  $V_{fg}$  nilainya selalu lebih besar daripada  $V_{rg}$ . Sehingga satu roda belakang akan terangkat sebelum satu roda depan terangkat dan kendaraan cenderung *oversteer*. Kemudian diketahui juga bahwa batas kecepatan agar kendaraan tidak mengalami guling baik roda depan maupun belakang akan semakin bertambah seiring dengan pertambahan sudut kemiringan melintang jalan.

#### 4.2.2.1.4 Analisa Kus Kendaraan Bermuatan Freezer

Berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien *understeer*, didapatkan grafik Koefisien Understeer (Kus) dengan sudut belok ( $\delta f$ ) Kendaraan Bermuatan Freezer Posisi CG 7 yang dapat dilihat pada Gambar 4.37, menunjukkan kurva antara nilai koefisien *understeer* terhadap sudut belok kendaraan. Trendline dari nilai koefisien *understeer* ini berbeda beda untuk setiap nilai kecepatan kendaraan.





**Gambar 4. 37 Grafik Koefisien Understeer Indeks (Kus) dengan sudut belok ( $\delta f$ ) Kendaraan Bermuatan Freezer Posisi CG 6 pada kemiringan jalan melintang (a)  $\theta=0^\circ$  (b)  $\theta=5^\circ$  (c)  $\theta=10^\circ$**

Berdasarkan Grafik Koefisien Understeer Indeks (Kus) dengan sudut belok ( $\delta f$ ) Kendaraan Bermuatan Multi Purpose Thresher Posisi CG 6 yang dapat dilihat pada Gambar 4.8, menunjukkan kurva antara nilai koefisien understeer terhadap sudut belok kendaraan. Trendline dari nilai koefisien understeer ini berbeda beda untuk setiap nilai kecepatan kendaraan. Saat kendaraan melintasi jalan dengan sudut kemiringan melintang jalan sebesar  $0^\circ$  atau kondisi jalan datar pada kecepatan 20 km/jam masih belum terjadi skid maupun guling, kendaraan cenderung mengalami understeer dimulai pada sudut  $15^\circ$  yang sebelumnya diawali dengan kondisi netral dan oversteer.

Pada kecepatan 25 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $10^\circ$  yang sebelumnya diawali dengan kondisi oversteer. Saat berbelok dengan sudut  $30^\circ$  kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $30^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal kering dan mulai mengalami skid pada sudut belok  $20^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal basah.

Pada kecepatan 30 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $10^\circ$  yang sebelumnya diawali dengan kondisi oversteer. Saat berbelok dengan sudut  $25^\circ$  kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Sehingga perhitungan tidak dapat dilanjutkan karena kendaraan mengalami skid dan guling (un-safe). Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $20^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal kering dan mulai mengalami skid pada sudut belok  $15^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal basah.

Pada kecepatan 35 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $5^\circ$ . Saat berbelok dengan sudut  $20^\circ$

kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 dan roda 2 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Sehingga perhitungan tidak dapat dilanjutkan karena kendaraan mengalami skid dan guling (un-safe). Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $15^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal kering dan mulai mengalami skid pada sudut belok  $10^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal basah.

Pada kecepatan 40 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $5^\circ$ . Saat berbelok dengan sudut  $15^\circ$  kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 dan roda 2 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Sehingga perhitungan tidak dapat dilanjutkan karena kendaraan mengalami skid dan guling (un-safe). Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $10^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal kering maupun aspal basah.

Pada kecepatan 45 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $5^\circ$ . Saat berbelok dengan sudut  $10^\circ$  kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Sehingga perhitungan tidak dapat dilanjutkan karena kendaraan mengalami skid dan guling (un-safe). Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $10^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal kering maupun aspal basah.

Pada kecepatan 50 km/jam perilaku kendaraan cenderung understeer pada sudut  $5^\circ$ . Saat berbelok dengan sudut  $10^\circ$  kendaraan dalam keadaan kritis akan terguling akibat terangkatnya roda 1 yang diakibatkan karena gaya normal dari roda tidak dapat menahan berat kendaraan atau bernilai negatif. Sehingga perhitungan tidak dapat dilanjutkan karena kendaraan



mengalami skid dan guling (un-safe). Kendaraan juga akan mulai mengalami skid pada sudut belok  $10^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal kering dan mulai mengalami skid pada sudut belok  $5^\circ$  saat kendaraan melintasi jalan aspal basah.

Kemudian saat kendaraan melintasi jalan dengan sudut kemiringan melintang jalan sebesar  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ , kestabilan kendaraan menjadi lebih baik. Hal ini disebabkan karena pada kondisi ini gaya lateral yang disebabkan oleh kendaraan lebih kecil daripada saat melaju pada jalan datar. Gaya lateral yang terjadi menjadi lebih kecil disebabkan oleh gaya berat yang bekerja berlawanan arah dengan gaya lateral. Sehingga terjadinya skid dan guling pada masing-masing variasi kecepatan juga akan berkurang seiring dengan penambahan sudut kemiringan melintang jalan.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

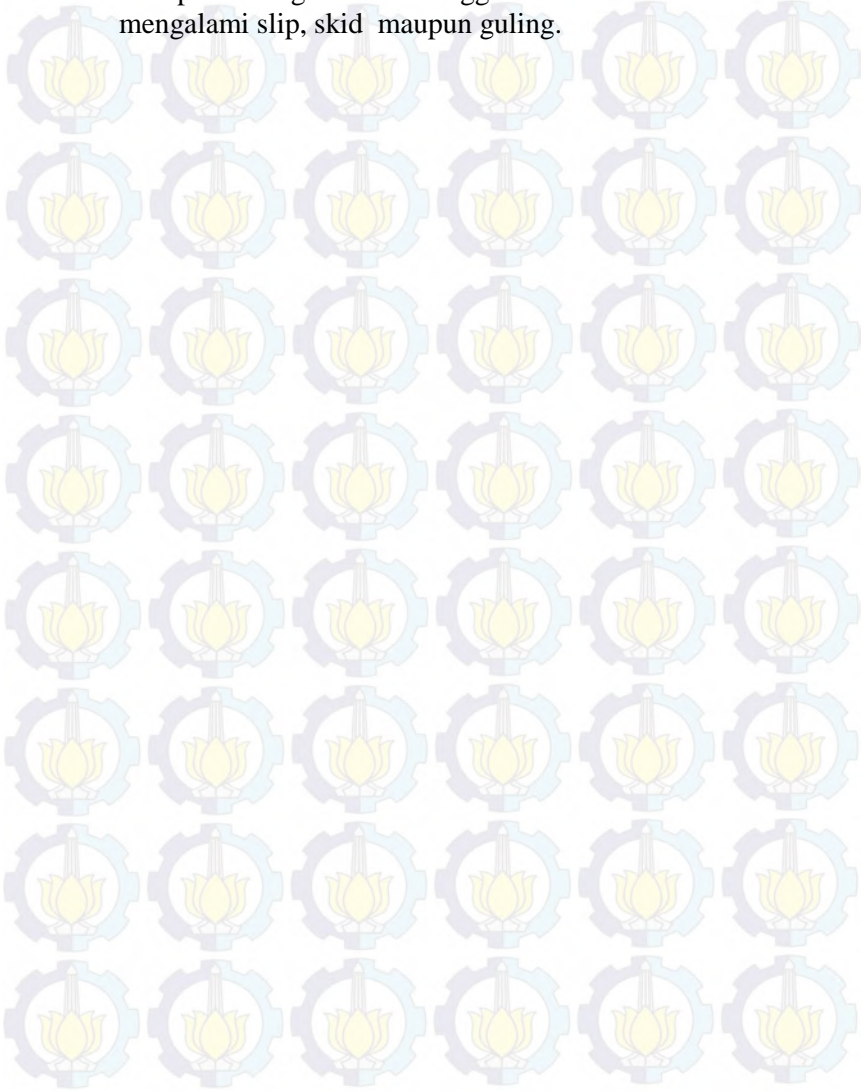
Dari analisa perilaku kendaraan produksi multiguna pedesaan dengan variasi kecepatan, sudut belok, koefisien gesek dan sudut kemiringan melintang jalan dengan menggunakan analisa slip, analisa skid dan analisa guling serta memperhatikan nilai koefisien understeer didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan hasil analisa dari kelima belas posisi titik berat pada kendaraan dengan muatan Multi Purpose Thresher, posisi titik berat 7 ( $b=2.2626$  m,  $L_f=1.2137$  m,  $L_r=1.4363$  m dan  $h=0.7118$  m) merupakan posisi titik berat yang paling optimal karena memiliki kondisi *oversteer* yang paling sedikit dan memiliki nilai *understeer index* positif (*understeer*) yang paling rendah dibandingkan posisi titik berat yang lain.
2. Berdasarkan hasil analisa dari kelima belas posisi titik berat pada kendaraan dengan muatan Freezer, posisi titik berat 6 ( $b=2.0632$  m,  $L_f=1.2027$  m,  $L_r=1.4473$  m dan  $h=0.705$  m) merupakan posisi titik berat yang paling optimal karena memiliki kondisi *oversteer* yang paling sedikit dan memiliki nilai *understeer index* positif (*understeer*) yang paling rendah dibandingkan posisi titik berat yang lain.

#### 5.1 Saran

1. Agar kendaraan tidak mudah guling maka penggunaan stabilizer dapat diletakkan pada bagian belakang karena dapat meminimalisir terangkatnya roda 1 saat berbelok yang juga akan mengurangi sudut slip roda belakang.

2. Menggunakan ban yang memiliki profil lebih lebar agar memperbesar gesekan sehingga kendaraan tidak mudah mengalami slip, skid maupun guling.



## LAMPIRAN

Tabel *Understeer Index* Kendaraan Bermuatan *Multi Purpose* Threser posisi CG7

V	$\delta f$	$\Theta = 0^\circ$		$\Theta = 5^\circ$		$\Theta = 10^\circ$	
km/jam	°	Kus	Perilaku	Kus	Perilaku	Kus	Perilaku
20	5	0.000	NETRAL	0.000	NETRAL	0.000	NETRAL
20	10	-0.282	OVERSTEER	0.000	NETRAL	0.000	NETRAL
20	15	0.064	UNDERSTEER	-0.388	OVERSTEER	0.000	NETRAL
20	20	0.214	UNDERSTEER	-0.022	OVERSTEER	-0.244	OVERSTEER
20	25	0.214	UNDERSTEER	0.118	UNDERSTEER	0.042	UNDERSTEER
20	30	0.150	UNDERSTEER	0.156	UNDERSTEER	0.186	UNDERSTEER
25	5	-0.168	OVERSTEER	0.000	NETRAL	0.000	NETRAL
25	10	0.309	UNDERSTEER	-0.229	OVERSTEER	-0.232	OVERSTEER
25	15	0.538	UNDERSTEER	0.244	UNDERSTEER	-0.049	OVERSTEER
25	20	0.521	UNDERSTEER	0.357	UNDERSTEER	0.199	UNDERSTEER
25	25	0.420	UNDERSTEER	0.341	UNDERSTEER	0.270	UNDERSTEER
25	30	0.288	UNDERSTEER	0.270	UNDERSTEER	0.264	UNDERSTEER
30	5	-0.051	OVERSTEER	-0.259	OVERSTEER	0.000	NETRAL
30	10	0.713	UNDERSTEER	0.332	UNDERSTEER	-0.050	OVERSTEER
30	15	0.760	UNDERSTEER	0.544	UNDERSTEER	0.328	UNDERSTEER
30	20	0.650	UNDERSTEER	0.522	UNDERSTEER	0.396	UNDERSTEER
30	25	0.493	UNDERSTEER	0.422	UNDERSTEER	0.355	UNDERSTEER
30	30	0.324	UNDERSTEER	0.294	UNDERSTEER	0.271	UNDERSTEER
35	5	0.488	UNDERSTEER	-0.141	OVERSTEER	-0.022	OVERSTEER
35	10	0.939	UNDERSTEER	0.645	UNDERSTEER	0.352	UNDERSTEER
35	15	0.872	UNDERSTEER	0.699	UNDERSTEER	0.525	UNDERSTEER
35	20	0.703	UNDERSTEER	0.594	UNDERSTEER	0.486	UNDERSTEER
35	25	0.511	UNDERSTEER	0.443	UNDERSTEER	0.379	UNDERSTEER
35	30	0.318	UNDERSTEER	0.281	UNDERSTEER	0.250	UNDERSTEER

V	$\delta f$	$\Theta = 0^\circ$		$\Theta = 5^\circ$		$\Theta = 10^\circ$	
km/jam	°	Kus	Perilaku	Kus	Perilaku	Kus	Perilaku
40	5	0.839	UNDERSTEER	0.335	UNDERSTEER	-0.155	OVERSTEER
40	10	1.078	UNDERSTEER	0.835	UNDERSTEER	0.593	UNDERSTEER
40	15	0.930	UNDERSTEER	0.782	UNDERSTEER	0.633	UNDERSTEER
40	20	0.719	UNDERSTEER	0.622	UNDERSTEER	0.525	UNDERSTEER
40	25	0.503	UNDERSTEER	0.438	UNDERSTEER	0.375	UNDERSTEER
40	30	0.295	UNDERSTEER	0.254	UNDERSTEER	0.217	UNDERSTEER
45	5	1.088	UNDERSTEER	0.662	UNDERSTEER	0.252	UNDERSTEER
45	10	1.169	UNDERSTEER	0.959	UNDERSTEER	0.748	UNDERSTEER
45	15	0.960	UNDERSTEER	0.828	UNDERSTEER	0.694	UNDERSTEER
45	20	0.718	UNDERSTEER	0.628	UNDERSTEER	0.537	UNDERSTEER
45	25	0.483	UNDERSTEER	0.419	UNDERSTEER	0.357	UNDERSTEER
45	30	0.264	UNDERSTEER	0.220	UNDERSTEER	0.180	UNDERSTEER
50	5	1.280	UNDERSTEER	0.903	UNDERSTEER	0.542	UNDERSTEER
50	10	1.235	UNDERSTEER	1.045	UNDERSTEER	0.854	UNDERSTEER
50	15	0.975	UNDERSTEER	0.853	UNDERSTEER	0.728	UNDERSTEER
50	20	0.707	UNDERSTEER	0.621	UNDERSTEER	0.534	UNDERSTEER
50	25	0.457	UNDERSTEER	0.394	UNDERSTEER	0.333	UNDERSTEER
50	30	0.231	UNDERSTEER	0.185	UNDERSTEER	0.143	UNDERSTEER



Tabel *Understeer Index* Kendaraan Bermuatan *Freezer* posisi CG6

V km/jam	$\delta f$ °	$\Theta = 0^\circ$		$\Theta = 5^\circ$		$\Theta = 10^\circ$	
		Kus	Perilaku	Kus	Perilaku	Kus	Perilaku
20	5	0.000	NETRAL	0.000	NETRAL	0.000	NETRAL
20	10	-0.261	OVERSTEER	0.000	NETRAL	0.000	NETRAL
20	15	0.122	UNDERSTEER	-0.403	OVERSTEER	0.000	NETRAL
20	20	0.314	UNDERSTEER	0.026	UNDERSTEER	-0.249	OVERSTEER
20	25	0.336	UNDERSTEER	0.202	UNDERSTEER	0.086	UNDERSTEER
20	30	0.285	UNDERSTEER	0.261	UNDERSTEER	0.261	UNDERSTEER
25	5	-0.191	OVERSTEER	0.000	NETRAL	0.000	NETRAL
25	10	0.378	UNDERSTEER	-0.234	OVERSTEER	-0.216	OVERSTEER
25	15	0.659	UNDERSTEER	0.318	UNDERSTEER	-0.023	OVERSTEER
25	20	0.664	UNDERSTEER	0.466	UNDERSTEER	0.272	UNDERSTEER
25	25	0.573	UNDERSTEER	0.467	UNDERSTEER	0.369	UNDERSTEER
25	30	0.445	UNDERSTEER	0.406	UNDERSTEER	0.378	UNDERSTEER
30	5	-0.050	OVERSTEER	-0.290	OVERSTEER	0.000	NETRAL
30	10	0.836	UNDERSTEER	0.401	UNDERSTEER	-0.033	OVERSTEER
30	15	0.915	UNDERSTEER	0.663	UNDERSTEER	0.411	UNDERSTEER
30	20	0.814	UNDERSTEER	0.659	UNDERSTEER	0.506	UNDERSTEER
30	25	0.658	UNDERSTEER	0.566	UNDERSTEER	0.479	UNDERSTEER
30	30	0.488	UNDERSTEER	0.441	UNDERSTEER	0.402	UNDERSTEER
35	5	0.558	UNDERSTEER	-0.150	OVERSTEER	-0.004	OVERSTEER
35	10	1.098	UNDERSTEER	0.760	UNDERSTEER	0.423	UNDERSTEER
35	15	1.046	UNDERSTEER	0.844	UNDERSTEER	0.640	UNDERSTEER
35	20	0.878	UNDERSTEER	0.747	UNDERSTEER	0.617	UNDERSTEER
35	25	0.681	UNDERSTEER	0.597	UNDERSTEER	0.515	UNDERSTEER
35	30	0.484	UNDERSTEER	0.432	UNDERSTEER	0.387	UNDERSTEER
40	5	0.960	UNDERSTEER	0.387	UNDERSTEER	-0.164	OVERSTEER

35	25	0.681	ONDERSTEER	0.597	ONDERSTEER	0.515	ONDERSTEER
km/h	30	0.484	ONDERSTEER	0.432	ONDERSTEER	0.387	ONDERSTEER
40	5	0.960	ONDERSTEER	0.960	ONDERSTEER	-0.004	ONDERSTEER
40	10	-0.262	ONDERSTEER	0.960	ONDERSTEER	0.000	ONDERSTEER
40	15	0.069	ONDERSTEER	-0.948	ONDERSTEER	0.069	ONDERSTEER
40	20	0.902	ONDERSTEER	-0.782	ONDERSTEER	-0.034	ONDERSTEER
40	25	0.816	ONDERSTEER	0.598	ONDERSTEER	0.642	ONDERSTEER
40	30	0.459	ONDERSTEER	0.466	ONDERSTEER	0.386	ONDERSTEER
45	5	-0.258	ONDERSTEER	0.060	ONDERSTEER	0.090	ONDERSTEER
45	10	0.309	ONDERSTEER	-0.229	ONDERSTEER	-0.332	ONDERSTEER
45	15	0.588	ONDERSTEER	0.003	ONDERSTEER	-0.849	ONDERSTEER
45	20	0.905	ONDERSTEER	0.397	ONDERSTEER	0.688	ONDERSTEER
45	25	0.620	ONDERSTEER	0.378	ONDERSTEER	0.200	ONDERSTEER
45	30	0.428	ONDERSTEER	0.270	ONDERSTEER	0.268	ONDERSTEER
50	5	-0.481	ONDERSTEER	-0.259	ONDERSTEER	0.026	ONDERSTEER
50	10	0.763	ONDERSTEER	0.232	ONDERSTEER	-0.050	ONDERSTEER
50	15	0.789	ONDERSTEER	0.699	ONDERSTEER	0.828	ONDERSTEER
50	20	0.898	ONDERSTEER	0.393	ONDERSTEER	0.896	ONDERSTEER
50	25	0.693	ONDERSTEER	0.434	ONDERSTEER	0.433	ONDERSTEER
50	30	0.320	ONDERSTEER	0.292	ONDERSTEER	0.278	ONDERSTEER

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Sutantra, I. Nyoman dan Bambang Sampurno.* 2010. **Teknologi Otomotif, Edisi Kedua.** Surabaya: Guna Widya.
- [2] *Pramono, Agus Sigit.* 2014. **Rancang Bangun Kendaraan Multiguna Pedesaan.** Surabaya: Teknik Mesin ITS
- [3] *Naafi, Rizqi An.* 2013. **Analisa Perilaku Arah Mobil GEA Pada Lintasan Belok Menurun dengan Variasi Kecepatan, Berat Muatan, Sudut Kemiringan Melintang, Sudut Turunan Jalan dan Radius Belok Jalan.** Surabaya: Teknik Mesin ITS
- [4] *Fitrawan, Muhammad Ashadi.* 2012. **Analisa Steering Linkage Pada INKA GEA dan Stabilitas dengan Variabel Kecepatan, Sudut Belok Terhadap Beba Muatan dan Posisi Muatan.** Surabaya: Teknik Mesin ITS.
- [5] ASTRA DAIHATSU MOTOR. (2015). Accessed at <http://daihatsu.co.id/product/granmax-mb>
- [6] RUTAN. (2015). Accessed at <http://www.rutan.co.id/in/downloaded.php?id=35>
- [7] AVANTCO. (2015). Accessed at <http://www.avantcorefrigeration.com/product.php?id=277>



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Gresik, 24 September 1993 dan merupakan anak kedua dari lima bersaudara pasangan Bapak Choirun Nuri dengan Ibu Enik Nur Aini. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis antara lain di TK Al-Ibrah Gresik, SD Muhammadiyah GKB Gresik, MTs. Mu'allimin Muhammadiyah Yogyakarta, MA. Mu'allimin Muhammadiyah Yogyakarta, dan terakhir terdaftar di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS dengan NRP 2111100100 melalui jalur

SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis secara aktif bergabung dengan Himpunan Mahasiswa Mesin ITS sebagai Staff Badan Semi Otonom *Big Event* masa jabatan 2012-2013 dan Direktur Badan Semi Otonom *Big Event* pada masa jabatan 2013-2014. Penulis juga secara aktif bergabung dengan Paguyuban Karya Salemba Empat ITS sebagai kabiro kaderisasi *Student Resource Development*. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti kegiatan kemahasiswaan serta menjadi panitia dari berbagai kegiatan yang diselenggarakan di tingkat jurusan, fakultas dan institut.

Penulis memiliki hobi membaca, menulis dan *traveling*. Motto hidup penulis adalah “sebaik-baik manusia adalah yang bermanfaat bagi orang lain”. Penulis dapat dihubungi melalui email [nashiruddin.azhar@gmail.com](mailto:nashiruddin.azhar@gmail.com) atau 087851486668